

Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos

Informe Final

6 Marzo 2014

v.2

Elaborado	Revisado	Validado
Belén Puyuelo Laura Rodríguez Anna Giménez	Juan Castaño	Juan Castaño

Resumen ejecutivo

El presente informe corresponde a los trabajos realizados en la primera, segunda y tercera fase del estudio “Generación de Información Base para la Evaluación de Normas de Calidad Ambiental y Emisión: Revisión y Actualización sobre Tecnologías y Costos de Abatimiento de Contaminantes en Residuos Líquidos”.

Este informe contiene los resultados del análisis de la información disponible para la caracterización de los efluentes líquidos por rubros, la selección y análisis de las principales tecnologías existentes para su tratamiento, el análisis de compatibilidad entre las diferentes tecnologías, la estimación de costos, tanto de inversión como de operación y mantenimiento, y las funciones asociadas a dichos costos. Asimismo, toda la información ha sido organizada en formato de base de datos para facilitar el acceso a la información presentada. El contenido detallado de esta tercera entrega se resume en los siguientes puntos:

- a) Archivos en formato.xls con el análisis de los datos informados por las empresas nacionales e incluidos en las bases de datos del DS 90 y DS 609, según normativa de aplicación.
- b) Análisis por rubro de la información existente sobre la calidad de los efluentes líquidos industriales de acuerdo al CIU de cada una de las empresas. A continuación, se listan los grupos de actividades consideradas indicando, en cada una de ellas, si se ha considerado en una base datos o bien en ambas:

<i>Actividad Económica</i>	<i>CIU</i>	<i>DS 90</i>	<i>DS 609</i>
Ganadería (Cría de animales).	012111; 012112; 012210; 012221; 012222; 012290; 013000.	√	
Acuicultura (criaderos de peces y granjas piscícolas)	051010; 051020; 051030; 051040; 051090.	√	
Minería	131000; 132090; 133000.	√	
Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado	151110; 151120; 151130; 151140; 151210, 151221; 151222; 151223.	√	√

Actividad Económica	CIU	DS 90	DS 609
Industria de Elaboración de Productos Lácteos	152010; 152020.	√	
Industria de Curtidos y Textil	171, 172300; 172910; 172990; 173, 181, 182000; 191100.	√	√
Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal	271000; 272, 272090; 273, 281;289, 289990; 311010.	√	√
Industria de Productos Químicos	241, 241190; 242, 242100; 242300; 242400; 242990; 252, 252090.	√	√
Industria de Papel y Madera	201000; 202100; 202300; 202900; 210110; 210121; 210129, 210200; 210900.	√	
Industria de Bebidas	155, 155200; 155300.	√	√
Planta de tratamiento de RILES.	900050	√	
Rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos.	900010; 900030	√	
Elaboración de productos de harinas y pastelería	153;154		√
Actividades de edición e impresión.	221;222;2212;2221		√
Fabricación de productos minerales no metálicos	261;269		√
Fabricación de muebles	361;369		√
Comercio al por mayor y al por menor	501;502;503;505; 512;511;512;515;519;521;523		√
Restaurantes, bares y cantinas	552		√
Clínicas y hospitales	851		√
Otras actividades: asociaciones, ocio y servicios	9199;924;930;9301		√

En el caso concreto en que un rubro determinado no se hayan medido algunos de sus parámetros característicos, éstos han sido completados con valores disponibles en los informes de referencia nacionales e internacionales.

- c) Presentación y descripción de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales industriales de mayor aplicación en Chile en formato de fichas. En esta fase del estudio se consultó un total de 11 empresas, además de levantar la información bibliográfica disponible.

El listado de las tecnologías analizadas en este informe es el siguiente:

Tecnologías de tratamiento			
Tratamientos primarios o físicos	Desbaste		Flotación
	Sedimentación		Filtración
	Tamizado		Cribado
Tratamientos Químicos	Precipitación Química		Coagulación
	Neutralización		Floculación
Sistemas Biológicos	Filtros Biológicos		Tratamientos Aeróbicos
			Lodos Activados
			SBR-Biorreactor Discontinuo Secuencial
	BRI - Biorreactor de Biomasa Inmovilizada		
Tratamientos Anaeróbicos	UASB – Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos,		Biometanización
	EGSB – Reactor de Lecho Granular Expandido		Lagunas de Oxidación
Tecnologías de membrana	BRM (Biorreactor de Membrana)		Ósmosis Inversa
	Electrodesionización		RALF (Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado)
	Electrodialísis		Ultrafiltración
	Nanofiltración		Microfiltración
	GAC (Carbón Activado Granular)		CAP (Carbón Activo en Polvo)
Procesos de Oxidación Avanzada (POAs)			

Tecnologías de tratamiento
Ozonización
Electrocoagulación
Cavitación

- d) Análisis de las compatibilidades e incompatibilidades del acoplamiento entre varias tecnologías de abatimiento de RILES y aguas servidas. Para el desarrollo del análisis de las compatibilidades, se ha incluido un apartado específico en las fichas tecnológicas de acuerdo a la información recopilada en la bibliografía. Además, en el Anexo C (planilla Excel) se presenta mediante diagramas y en dos niveles de detalle, las posibles interacciones entre tecnologías, así como el proceso para el tratamiento de los lodos generados por sistema de tratamiento de aguas.
- e) Estimación de costos de los equipos en cada tecnología y de instalación e información relacionada con el área ocupada por dicha tecnología, insumos de los aditivos y consumo energético en relación al caudal de diseño. Estimación de los costos de operación y mantenimiento anual de cada una de las tecnologías. Para la estimación de costos de inversión y, de operación y mantención de la tecnología se han consultado alrededor de 37 empresas de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, en Chile y a nivel internacional, siendo solamente 4 de ellas las que facilitaron datos. Algunas de ellas ya fueron consultadas en una etapa inicial del proyecto para la elaboración de las fichas. Sin embargo, y aunque esta fuente de información es la más confiable y actualizada, las empresas no han aportado un número considerable de datos. Los principales motivos son la dificultad para entregar un único valor económico de inversión en relación a un único parámetro de diseño para cada tecnología y la confidencialidad asociada a los datos requeridos.

Para completar la información sobre costos de inversión y, de operación y mantención, se ha consultado bibliografía a nivel internacional, publicaciones científicas, la información disponible en las páginas de internet de los diferentes proveedores, base de datos del SEA (Servicio de Evaluación Ambiental) y en los estudios tarifarios que se realizan en el

proceso tarifario que las empresas sanitarias efectúan periódicamente con la SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios).

En el numeral 2 del informe se detalla la metodología para la determinación de costos, las consideraciones que se deben tomar en cuanto a su uso y la metodología de actualización de los costos.

Los costos de inversión, operación y mantenimiento, la relación de aditivos y precio, el consumo energético, la información sobre monitoreo y seguimiento, y el personal laboral requerido se han incluido en cada una de las fichas de tecnologías siguiendo el formato de la siguiente tabla:

NOMBRE TECNOLOGÍA				
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)	Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
<i>Caudal 1</i>				
<i>Caudal 2</i>				
<i>Caudal 3</i>				
FUNCIONES DE COSTO				
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$				
<i>Costos de inversión total</i>			<i>Rango de aplicación: Costos de:</i>	
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>			<i>Rango de aplicación: Costos de:</i>	
DESGLOSE DE VARIABLES				
Reactivos				
Aditivo	Dosis recomendada (mg/l)	Costo (US \$)		
Consumo energético planta				
Área ocupada por la instalación				
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)		

Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
Condiciones de operación y mantención		
Vida útil de los equipos		

- f) Estimación de las funciones de costos teóricas (inversión y operación) de acuerdo a los datos publicados en la bibliografía y a los costos reales identificados.
- g) Análisis de la factibilidad de implementar en Chile las nuevas tecnologías de abatimiento.
- h) Desarrollo de la base de datos con la información recopilada en las fichas tecnológicas y la matriz de compatibilidad entre tecnologías indicando los diferentes niveles posibles. La base de datos se ha realizado en planilla Excel (Anexo D_BD-TecAbat).

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO Y ALCANCE	2
2. METODOLOGÍA	4
3. CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES POR RUBROS Y/O INDUSTRIAS	29
3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA POR RUBROS DE LOS DATOS DE LA BASE DE DATOS DEL DS 9045	
3.1.1 <i>Medición de los parámetros típicos de RIL por rubro del DS 90</i>	78
3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA POR RUBROS DE LOS DATOS DE LA BASE DE DATOS DEL DS 609 .	
.....	82
3.2.1 <i>Medición de los parámetros típicos de RIL por rubro del DS 609</i>	109
NP; DS 90; NSCA	112
4. FICHAS TÉCNICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO.....	113
5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	121
6. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN CHILE DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO	124
7. BASE DE DATOS SOBRE TECNOLOGÍAS Y COSTOS DE ABATIMIENTO DE CONTAMINANTES EN RESIDUOS LÍQUIDOS.....	127
8. CONCLUSIONES.....	129
9. REFERENCIAS	131
ANEXO A: FICHAS DE TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO	134
ANEXO B: TECNOLOGÍAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES.....	136
ANEXO E: EMISARIOS SUBMARINOS	141

Índice de Figuras

FIGURA 1. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN PARA UN CAUDAL DE 10 M ³ /H Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO ₅ PARA 5 TECNOLOGÍAS.....	27
---	----

Índice de Tablas

TABLA 1. RUBROS MÁS REPRESENTATIVOS Y CIUS ASOCIADOS A CADA RUBRO SELECCIONADOS PARA LA BASE DE DATOS DEL DS 90.	6
TABLA 2. RUBROS MÁS REPRESENTATIVOS Y CIUS ASOCIADOS A CADA RUBRO SELECCIONADOS PARA LA BASE DE DATOS DEL DS 609/2000.	12
TABLA 3. DISTRIBUIDORES Y PROVEEDORES DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTACTADOS.	18
TABLA 4. DISTRIBUIDORES Y PROVEEDORES QUE HAN FACILITADO INFORMACIÓN SOBRE COSTOS DE TECNOLOGÍAS.	20
TABLA 5. VALORES DE N EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTOS DE INVERSIÓN.	24
TABLA 6. VALORES DE N EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO CUANDO SE HA APLICADO LA METODOLOGÍA DE FACTOR DE CAPACIDAD.	26
TABLA 7. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE AGRICULTURA, GANADERÍA, CAZA Y SILVICULTURA.	32
TABLA 8. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE PESCA.	33
TABLA 9. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS.	34
TABLA 10. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS MANUFACTURERAS.	35
TABLA 11. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA.	39
TABLA 12. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE COMERCIO.	40
TABLA 13. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE HOTELES Y RESTAURANTES.	41
TABLA 14. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE ACTIVIDADES INMOBILIARIAS, EMPRESARIALES Y DE ALQUILER.	41
TABLA 15. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE CENTROS DE ENSEÑANZA.	41
TABLA 16. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES EN SERVICIOS SOCIALES Y DE SALUD. ...	42
TABLA 17. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE AGUAS RESIDUALES DE OTROS SERVICIOS.	42
TABLA 18. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR GANADERÍA (CRÍA DE ANIMALES EN CHILE).	45
TABLA 19. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA ACUICULTURA EN CHILE.	47
TABLA 20. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA MINERÍA.	49

TABLA 21. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA MANIPULACIÓN DE CARNE Y PESCADO	52
TABLA 22. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS EN CHILE.	55
TABLA 23. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE CURTIDOS Y TEXTIL EN CHILE.	57
TABLA 24. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE METALES Y PRODUCTOS ELABORADOS DE METAL EN CHILE.	59
TABLA 25. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN CHILE.	61
TABLA 26. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE PAPEL Y MADERA EN CHILE.	64
TABLA 27. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE BEBIDAS EN CHILE.....	67
TABLA 28. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RILES Y AGUAS SERVIDAS EN CHILE CON DESCARGA EN AGUAS MARINAS O CONTINENTALES SUPERFICIALES.....	70
TABLA 29. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RILES Y AGUAS SERVIDAS EN CHILE PARA SU USO COMO AGUAS DE RIEGO.....	73
TABLA 30. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE RELLENOS SANITARIOS Y CENTROS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS.	75
TABLA 31. PARÁMETROS TÍPICOS SEGÚN EL NÚMERO DE RUBROS EN QUE SON INCLUIDOS EN LA BASE DE DATOS DEL DS 90	78
TABLA 32. PARÁMETROS TÍPICOS NO INFORMADO POR RUBRO EN LA BASE DE DATOS DEL DS 90	79
TABLA 33. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR INDUSTRIAS DE MANIPULACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE CARNE Y PESCADO.....	82
TABLA 34. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE CURTIDOS Y TEXTILES.	83
TABLA 35. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE HARINAS Y PASTELERÍA.....	85
TABLA 36. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS ACTIVIDADES DE EDICIÓN E IMPRESIÓN.....	87
TABLA 37. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS MINERALES NO METÁLICOS.....	89
TABLA 38. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE FABRICACIÓN DE METALES Y DE PRODUCTOS ELABORADOS DE METAL.	91
TABLA 39. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS.	94
TABLA 40. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA INDUSTRIA DE BEBIDAS.....	96

TABLA 41. VALORES DE DQO Y NITROGÉNO KJEDAHN EN AGUAS RESIDUALES DE DIFERENTES PROCESOS DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA.	98
TABLA 42. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE FABRICACIÓN DE MUEBLES.	99
TABLA 43. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS EMPRESAS DEDICADAS AL COMERCIO AL POR MAYOR Y AL POR MENOR	101
TABLA 44. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE RESTAURANTES, BARES Y CANTINAS.	103
TABLA 45. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SECTOR DE CLÍNICAS Y HOSPITALES.....	105
TABLA 46. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE OTRAS ACTIVIDADES: ASOCIACIONES, OCIO Y SERVICIOS	106
TABLA 47. PARÁMETROS TÍPICOS POR NÚMERO DE RUBROS INCLUIDOS EN LA BASE DE DATOS DEL DS 609	109
TABLA 48. PARÁMETROS TÍPICOS NO INFORMADO POR RUBRO EN LA BASE DE DATOS DEL DS 609	110
TABLA 49. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DESCRITAS EN LAS FICHAS TÉCNICAS.	113
TABLA 50. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y PARÁMETROS A TRATAR	117
TABLA 51. CLASIFICACIÓN DE ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN	121
TABLA 52. USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA EN CHILE	124
TABLA 53. TECNOLOGÍAS DE REMOCIÓN COMÚN PARA CADA TIPO DE FORMA DE NITRÓGENO	138
TABLA 54. TECNOLOGÍAS DE REMOCIÓN COMÚN PARA CADA TIPO DE FORMA DE FÓSFORO.....	139
TABLA 55. COSTOS DE INVERSIÓN Y DATOS TÉCNICOS DE EMISARIOS SUBMARINOS.....	143



1. Introducción

La Ley N° 19.300 del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia, sobre la bases generales del Medio Ambiente, y su reglamento DS 38/2013 para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, y las normativas sobre las normas de Emisión y Normas Secundarias de Calidad Ambiental, tanto sus propuestas como su revisión, deben someterse a un Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES).

En este contexto, el Ministerio de Medio Ambiente ha planteado la necesidad de conocer los costos asociados al tratamiento de efluentes de los residuos líquidos en el ámbito de aplicación del DS 90 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia y del DS 609 del Ministerio de Obras Públicas.

El DS 90 establece una norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. El DS 609, en cambio, establece una norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.

Ambas legislaciones tienen por objeto la prevención de la contaminación de las aguas por la descarga de efluentes líquidos, ya sea en los sistemas de alcantarillado (DS 609), o bien en acuíferos, los cuáles se identifican en el DS 90 como: cuerpos de agua fluviales, lacustres y marinos dentro y fuera de la zona de protección litoral. El DS 90 identifica diferentes límites de concentración máxima permisible de contaminantes para los residuos líquidos descargados según el tipo de cuerpo de agua del que se trate. El ámbito de aplicación de la norma incluye a todos los establecimientos que descargan sus residuos líquidos a uno o más cuerpos o cursos de agua receptores (mar, ríos o lagos) y que, como resultado de su proceso, actividad o servicio, emitan una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados en el numeral 3.7 de dicha norma.

1.1 Objetivo y alcance

El objetivo del estudio consiste en sistematizar la información y estructurar bases de datos que permitan:

- i. Caracterizar adecuadamente los efluentes emitidos desde instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas.
- ii. Conocer los aspectos técnicos y costos asociados a las tecnologías de abatimiento utilizadas actualmente para su tratamiento, tanto a nivel nacional como internacional.

Asociados a este objetivo general, se han identificado los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los efluentes de los establecimientos industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas normados por los Decretos Supremos N°609 y 90.
- Elaborar por cada tecnología de abatimiento una ficha que describa los antecedentes técnicos asociados a su implementación.
- Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento vinculados a cada tecnología de abatimiento.
- Consolidar una base de datos que integre las características de todas las tecnologías de abatimiento de contaminantes presentes en residuos líquidos industriales y de plantas de tratamiento de aguas servidas.

El presente informe presenta los resultados de la integración de las bases de datos asociadas al DS 90 y al DS 609, las cuales contienen información relativa a los registros disponibles de las cargas de contaminantes por parte de industrias, plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) y otras actividades económicas. Así mismo, se realiza una revisión de las concentraciones características para cada parámetro medido por tipo de rubro, indicando, en las bases de datos, si el parámetro medido es un parámetro normado por el DS90 o DS 609 y si es típico de las aguas residuales emitidas para dicho tipo de industria (típico de RIL).

El informe incorpora en las fichas de cada tecnología, los costos de inversión y mantenimiento asociados a un caudal de diseño, así como los consumos energéticos esperados, los costos asociados al uso de aditivos, los costos determinados con el

personal necesario, la vida útil de cada tecnología y el análisis sobre la compatibilidad entre tecnologías. El estudio de compatibilidad entre tecnologías se completa con el Anexo C mediante diagramas de proceso con diferentes niveles de detalle, con el objetivo de presentar la información de manera más visual y comprensible.

Finalmente, se han estimado las ecuaciones de inversión, operación y mantenimiento, y se ha desarrollado la base de datos que integra la información sobre las tecnologías de abatimiento consideradas.

2. Metodología

La metodología para la consecución de los objetivos definidos ha considerado siete tareas principales que seguidamente se detallan:

- a) Caracterización de los efluentes de los establecimientos industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas normados por los Decretos Supremos N°609 y N° 90.

Para la caracterización de los efluentes, en primer lugar se ha analizado la base de datos correspondiente a las empresas que deben cumplir los límites de vertido establecidos en el DS 90. Este análisis se ha realizado mediante el tratamiento de datos en el que se ha aplicado el software Visual Basic integrado en el programa Excel. Para el análisis de la base de datos de las empresas que deben cumplir con el DS 609 se ha procedido de igual modo, y como resultado se han analizado los resultados de aproximadamente 1.300.000 registros de aguas residuales realizados en el periodo 2006-2009.

El segundo punto de esta tarea ha consistido en la caracterización de efluentes para cada rubro. De esta manera se ha conseguido una valiosa información sobre los principales parámetros de interés que caracterizan los RILES en función del sector productivo del que procedan y sobre la concentración media detectada en los RILES para los principales rubros y para cada uno de los parámetros analizados en el período en cuestión.

La clasificación de las empresas se ha realizado mediante el código CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las empresas) del año 2007, de acuerdo al documento publicado por el Instituto Nacional de Estadística. En la base de datos EXCEL que se ha elaborado para analizar toda la información disponible, se ha incorporado el código CIU de cada una de las empresas asociado a la actividad generadora de los RILES analizados. Este código CIU se ha identificado a partir del RUT de cada empresa, el cual se ha determinado, entre otras vías, a partir de la información disponible on-line en el Servicio de Impuestos Internos (SII), para los valores incluidos en la base de datos del DS 90 (en adelante BD 90).

A partir de los datos informados por el Ministerio de Medio Ambiente se identificó el CIU de la mayoría de empresas de la base de datos del DS 609 (en adelante

BD 609). El análisis ha permitido identificar el código correspondiente de alrededor de 2.263 empresas entre un total de 2.292.

La caracterización de los efluentes por rubros se ha desarrollado mediante el análisis de todos los contaminantes analizados por cada empresa. En el análisis por empresa se han contemplado los siguientes parámetros estadísticos: los valores promedio de las concentraciones, los valores mínimos y máximos de los promedios, el número de muestras analizadas y el número de veces en los que la concentración detectada supera la concentración permitida.

Posteriormente, estos datos fueron tratados de nuevo agrupando los resultados analíticos por rubros. De manera que se han obtenido los valores promedio de concentración de contaminantes para todas las empresas de un mismo rubro.

Los rubros más representativos que se han identificado en esta fase del estudio y los códigos CIU que se han seleccionado para garantizar la inclusión de la mayoría de las empresas chilenas son los que se presentan en la Tabla 1, para el análisis del DS 90, y la Tabla 2, para el DS 609.

Para la selección del grupo de actividades se ha seguido los siguientes criterios:

- DS 90: Integración de aquellos sectores productivos más relevantes en Chile, incorporando también aquellos que potencialmente podrían ser más contaminantes. Los datos seleccionados pertenecen a los CIU indicados en la Tabla 1.
- DS 609: agrupación de aquellas actividades económicas con un mayor número de empresas en la base de datos. Las divisiones incorporadas en los grupos, recogen alrededor del 90% de las empresas que han entregado información sobre los parámetros analíticos.

Tabla 1. Rubros más representativos y CIUs asociados a cada rubro seleccionados para la Base de Datos del DS 90.

SECCIÓN	DIVISIÓN	GRUPOS	CLASE	NOMENCLATURA AGRUPACIÓN EMPRESAS	CIUs seleccionados
A – Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	Agricultura, ganadería, caza y actividades conexas.	Cría de animales Cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales (explotación mixta).	Cría de ganado vacuno y de ovejas, cabras, caballos, asnos, mulas y burdéganos, cría de ganado lechero Cría de otros animales, elaboración de productos animales, n.c.p. Cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales (explotación mixta).	Ganadería (Cría de animales).	012111; 012112; 012210; 012221; 012222; 012290; 013000.
B- Pesca	Pesca, explotación de criaderos de peces y granjas piscícolas; actividades de servicios relacionadas con la pesca	Explotación de criaderos de peces y productos del mar en general (acuicultura y servicios relacionados).	Explotación de criaderos de peces y productos del mar en general (acuicultura y servicios relacionados).	Acuicultura (criaderos de peces y granjas piscícolas)	051010; 051020; 051030; 051040; 051090.
C – Explotación de minas y canteras	Extracción de minerales metalíferos	Extracción de cobre Extracción de minerales de hierro Extracción de minerales metalíferos, no ferrosos excepto los minerales de cobre, uranio y torio	Extracción de cobre Extracción de minerales de hierro Extracción de minerales metalíferos, no ferrosos excepto los minerales de cobre, uranio y torio	Minería	131000; 132090; 133000.

D – Industrias manufactureras	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Producción, procesamiento y conservación de carne, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas.	Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos. Elaboración y conservación de pescado y producto de pescado	Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado	151110; 151120; 151130; 151140; 151210, 151221; 151222; 151223.
	Elaboración de productos alimenticios y bebidas:	Elaboración de productos lácteos	Elaboración de productos lácteos	Industria de Elaboración de Productos Lácteos	152010; 152020.
	Fabricación de productos textiles y Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles.	Fabricación de otros productos textiles n.c.p. Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería Adobo y teñidos de pieles; fabricación de artículos de piel	Fabricación de cuerdas, cordeles, bramantes y redes. Fabricación de otros productos textiles n.c.p. Adobo y teñidos de pieles; fabricación de artículos de piel. Curtido y adobo de cueros.	Industria de Curtidos y Textil	172300; 172910; 172990; 182000; 191100.

	<p>Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p..</p> <p>Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo</p> <p>Fabricación de metales comunes</p>	<p>Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos; sus reparaciones</p> <p>Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos</p> <p>Industrias básicas de hierro y acero</p> <p>Fabricación de otros productos elaborados de metal; actividades de servicios de trabajo de metales</p>	<p>Industrias básicas de hierro y acero.</p> <p>Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos.</p> <p>Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.</p> <p>Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos; sus reparaciones.</p>	<p>Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal</p>	<p>271000; 272090; 289990; 311010.</p>
--	---	--	--	--	--

	<p>Fabricación de sustancias y productos químicos.</p> <p>Fabricación de productos de caucho y plástico.</p>	<p>Fabricación de otros productos químicos</p> <p>Fabricación de productos de plástico</p> <p>Fabricación de sustancias químicas básicas</p>	<p>Fabricación de sustancias químicas básicas, excepto abonos y compuestos de nitrógeno.</p> <p>Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario.</p> <p>Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos.</p> <p>Fabricaciones de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador.</p> <p>Fabricación de otros productos químicos n.c.p..</p> <p>Fabricación de productos de plástico.</p>	<p>Industria de Productos Químicos</p>	<p>241190; 242100; 242300; 242400; 242990; 252090.</p>
--	--	--	--	--	--

	<p>Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables</p> <p>Fabricación de papel y productos del papel.</p>	<p>Aserrado y acepilladura de maderas</p> <p>Fabricación de papel y productos del papel</p> <p>Fabricación de productos de madera y corcho, paja y de materiales trenzables</p>	<p>Aserrado y acepilladura de maderas.</p> <p>Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tablero laminado, tableros de partículas y otros tableros y paneles.</p> <p>Fabricación de recipientes de madera.</p> <p>Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, paja y materiales trenzables.</p> <p>Fabricación de pastas de madera, papel y cartón.</p> <p>Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón.</p> <p>Fabricación de otros artículos de papel y cartón.</p>	<p>Industria de Papel y Madera</p>	<p>201000; 202100; 202300; 202900; 210110; 210121; 210129, 210200; 210900.</p>
	<p>Elaboración de productos alimenticios y bebidas</p>	<p>Elaboración de bebidas</p>	<p>Elaboración de vinos y otras bebidas alcohólicas fermentadas.</p> <p>Elaboración de bebidas malteadas, cervezas y maltas.</p>	<p>Industria de Bebidas</p>	<p>155200; 155300.</p>

O – Otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Planta de tratamiento de RILES.	900050
	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos.	900010; 900030

Tabla 2. Rubros más representativos y CIUs asociados a cada rubro seleccionados para la Base de Datos del DS 609/2000.

SECCIÓN	DIVISIÓN	GRUPO/S	CLASE	NOMENCLATURA AGRUPACIÓN EMPRESAS	CIUs seleccionados
D – Industrias manufactureras	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Producción, procesamiento y conservación de carne, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas.	N.D.	Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado	151
	Curtido y adobo de cuero; fabricación de maletas; bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería, y calzado Fabricación de productos textiles Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	Hilandería, tejeduría y acabado de productos textiles Fabricación de otros productos textiles. Fabricación de tejidos y artículos de punto y ganchillo. Fabricación de prendas de vestir; excepto prendas de piel. Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería. Adobo y teñido de pieles; fabricación de artículos de piel	N.D.	Industria de Curtidos y Textil	171;172;173;181;182;191.

	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón, y de alimentos preparados para animales. Elaboración de otros productos alimenticios.	N.D.	Elaboración de productos de harinas y pastelería	153;154
	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	Actividades de edición. Actividades de impresión y actividades de servicios conexas.	Actividades de impresión Edición de periódicos, revistas y publicaciones periódicas	Actividades de edición e impresión.	221;222;2212;2221
	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	Fabricación de vidrios y productos de vidrio. Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p.	N.D.	Fabricación de productos minerales no metálicos	261;269

	<p>Fabricación de metales comunes.</p> <p>Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo.</p>	<p>Industrias básicas de hierro y acero.</p> <p>Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos.</p> <p>Fundición de metales.</p> <p>Fabricación de productos metálicos para uso estructural, tanques, depósitos y generadores de vapor.</p> <p>Fabricación de otros productos elaborados de metal; actividades de servicios de trabajo de metales.</p>	N.D.	Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal	271;272;273;281;289
	<p>Fabricación de sustancias y productos químicos.</p> <p>Fabricación de productos de caucho y plástico.</p>	<p>Fabricación de sustancias químicas básicas.</p> <p>Fabricación de otros productos químicos.</p> <p>Fabricación de productos de plástico.</p>	N.D.	Industria de Productos Químicos	241;242;252.
	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Elaboración de bebidas.	N.D.	Industria de Bebidas	155

	Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p.	Fabricación de muebles. Industrias manufactureras n.c.p.		Fabricación de muebles	361;369
--	--	--	--	------------------------	---------

<p>G-Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos</p>	<p>Comercio al por mayor en comisión excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas Comercio al por menor en comisión excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas Venta y mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas</p>	<p>Venta de vehículos automotores. Venta al por menor de combustible para automotores. Venta al por mayor de maquinaria, equipo y materiales conexos. Comercio al por menor no especializado en almacenes. Comercio al por menor de otros productos nuevos en almacenes especializados. Mantenimiento y reparación de vehículos automotores Venta al por mayor a cambio de una retribución por contrata Venta al por mayor de materias primas agropecuarias, animales vivos, alimentos, bebidas y tabaco Venta al por mayor de otros productos</p>	<p>N.D.</p>	<p>Comercio al por mayor y al por menor</p>	<p>501;502;503;505;512;511;515;519;521;523</p>
--	---	--	-------------	---	--

H – Hoteles y Restaurantes	Hoteles y restaurantes	Restaurantes, bares y cantinas.	Restaurantes, bares y cantinas.	Restaurantes, bares y cantinas	552;5520
N - Servicios sociales y de salud	Servicios sociales y de salud	Actividades relacionadas con la salud humana.	N.D.	Clínicas y hospitales	851
O – Otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales	Actividades de asociaciones, n.c.p. Actividades de esparcimiento y actividades culturales y deportivas Otras actividades de servicios	Actividades deportivas y otras actividades de esparcimiento. Otras actividades de servicios. Actividades de otras asociaciones n.c.p.	Lavado y limpieza de prendas de tela y de piel, incluso las limpiezas en seco. Actividades de otras organizaciones	Otras actividades: asociaciones, ocio y servicios	9199;924;930;9301

- b) Elaborar para cada tecnología de abatimiento una ficha que describa los antecedentes técnicos asociados a su implementación:

Para la elaboración de las fichas de cada tecnología, en primer lugar se han identificado y validado las tecnologías de abatimiento de acuerdo al grupo de parámetros físico-químicos de control definidos en el DS 90 y DS 609. Una vez seleccionadas las tecnologías más convenientes, se ha desarrollado el levantamiento de la información bibliográfica disponible en bases de datos como por ejemplo Science Direct. Por otra parte, también se han contactado a los proveedores y distribuidores de las tecnologías presentes en Chile para completar la información de tipo más operacional. En esta primera etapa, se consultaron 11 empresas de las cuales se concertó entrevista con 3 de ellas (Aguasin, Dlc S.A. y Acuasud); los datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Distribuidores y proveedores de tecnologías de tratamiento de aguas residuales contactados.

Nombre Empresa	
Acuasud	Dlc S.A.
AD Ingeniería S.A.	Grupo Best Way
Aguas Sipra S.A.	Sitgen Ltda.
Aguasin	STH Ingeniería
Bapa	Wetland
Delkor	

- c) Analizar las interacciones existentes entre las diferentes tecnologías de abatimiento descritas y determinar los niveles de compatibilidad entre ellos:

A partir de la información recopilada mediante bibliografía específica y las entrevistas realizadas con algunos de los proveedores se ha desarrollado una sección específica en cada una de las fichas de tecnologías de abatimiento en el que se detallan la compatibilidad de cada tecnología con las tecnologías más comunes, tanto de pre tratamiento como post tratamiento.

Con objeto de analizar el nivel de compatibilidad entre las tecnologías de uso más generalizado, se incluyen tres diagramas, con diferente nivel de detalle de acoplamiento entre las diferentes tecnologías. En los esquemas, que se presentan en un archivo Excel (Anexo C_Compatibilidad entre tecnologías), se describe la información que se detallan a continuación:

- Interacciones de tipo general entre tecnologías: diagrama que clasifica las tecnologías de abatimiento de este informe según si son tecnologías de pre tratamiento o primarias, tecnologías secundarias y terciarias.
- Interacciones comunes entre tecnologías: diagrama en serie de las combinaciones de las tecnologías más usadas en las tres fases de tratamiento. En cada fase del tratamiento se indica las combinaciones más generales, así como las diferentes opciones de tecnologías posibles en una misma fase del tratamiento.
- Tratamiento de lodos: diagrama del proceso de tratamiento de lodos, identificando en cada etapa las diferentes tecnologías disponibles.

A parte de los diagramas de interacciones en la base de datos (Anexo D_BD-TecAbat) se ha incluido una matriz de interacciones, que identificará la compatibilidad entre dos tecnologías mediante códigos numéricos (0, 1, 2 y 3), los cuales indican:

- 0: Las dos tecnologías no son compatibles entre si.
- 1: Tecnología columna A es pre-tratamiento de la tecnología de la fila 1.
- 2: Tecnología columna A es post-tratamiento de la tecnología de la fila 1.
- 3: Tecnologías acoplables/compatibles

Los códigos 1 y 2 expresan un tipo específico de compatibilidad.

d) Estimación de los costos de inversión, operación y mantenimiento:

En esta etapa del trabajo se han estimado los valores de inversión, operación y mantenimiento de las tecnologías con mayor desarrollo en Chile. Las fuentes de información utilizadas para su desarrollo son:

- i) *Proveedores de equipos e instaladores de tecnologías de abatimiento de contaminantes en RILES y aguas servidas.* Durante el levantamiento de información para la estimación de costos se ha contactado un total de 37 empresas (29 chilenas, 6 extranjeras y dos universidades). Algunas fueron contactadas previamente durante la etapa inicial del proyecto con objeto de recopilar información técnica sobre las tecnologías. Además se han mantenido entrevistas personales con 3 de las empresas contactadas. A continuación se indican aquellas empresas, a las cuales agradecemos su colaboración en el proyecto, y que han facilitado información sobre los costos de inversión y operación hasta la fecha de entrega de este informe:

Tabla 4. Distribuidores y proveedores que han facilitado información sobre costos de tecnologías.

<i>Nombre Empresa</i>
Acuasud
Veolia
Quimagua
Sedaqua

El bajo número de empresas proveedoras que han facilitado datos de estimaciones sobre las tecnologías de abatimiento es debido a varios factores, entre los que se encuentra la elevada variabilidad de los costos de inversión para una misma tecnología y con un único parámetro de diseño (caudal), dependiendo de los contaminantes y su concentración en el agua a tratar para dar cumplimiento al DS 90 o DS 609.

Este hecho dificulta la entrega de valores de los costos, tanto de inversión como de operación y mantenimiento, por parte de los proveedores, ya que éstos manejan datos de costo específicos para proyectos con condiciones muy concretas obstaculizando así la entrega de valores de carácter más general.

- ii. Estudios tarifarios para la fijación de datos publicados para la fijación de tarifas de las empresas sanitarias por la SISS.
- iii. *Referencias bibliográficas: manuales de la EPA (United States Environmental Protection Agency); otros manuales para la estimación de curvas de costos y artículos.* La EPA ha publicado varios manuales para la determinación de costos de inversión, operación y mantenimiento, y de otros parámetros relacionados con el funcionamiento de la tecnologías de abatimiento de aguas residuales entregando costos y curvas en función del caudal de diseño, o bien de algún otro parámetro característico de la tecnología. Si bien, estos manuales se pueden considerar adecuados con objeto de comparar costos entre tecnologías, sus valores definidos deben tomarse en cuenta con cierta prudencia, puesto que se trata de publicaciones muy antiguas (1978, 1983 y 1988) y referentes a ubicaciones donde los costos son estimados. Una vez comparados estos datos con los valores actuales identificados, se consideró que éstos no deberían ser considerados totalmente confiables. En base a esto, se deduce que se debe tener una consideración especial cuando se empleen los datos provenientes de esta fuente.
- iv. Base de datos de proyectos del SEA (Servicio de Evaluación Ambiental): se han identificado los costos de inversión en relación a proyectos de tratamiento de aguas residuales que utilizasen como tecnología principal, una de las tecnologías de tratamiento de aguas analizadas. Cabe destacar que los valores estimados a partir del SEA se relacionan con unas condiciones muy específicas de proyecto: características físicas y químicas de las aguas residuales, rubro de la actividad que produce el RIL, ubicación del proyecto y calidad de las aguas a cumplir y la falta de desglose de los costos. Debido a las características anteriormente descritas, se han seleccionado los proyectos más similares, en cuanto a configuración de diseño de la planta de tratamiento de RILES para una misma tecnología.
- v. Publicaciones científicas.

Debido a su mayor fiabilidad con la situación actual en Chile, se prioriza la adquisición de datos mediante empresas proveedoras de tecnologías. Sin embargo, por la falta de disponibilidad de estos datos para muchas de las tecnologías, la información se ha

completado a partir de datos de artículos científicos, información del SEA, de la SISS y, en su defecto, con datos de referencias bibliográficas y actualizando los datos del informe de CONAMA 2010.¹

Todos los costos han sido actualizados a la fecha actual, según el incremento de precios en Chile, o en su caso, del país en el que se ha determinado el costo, de acuerdo con la siguiente ecuación técnica de actualización de costos²:

$$\text{Valor Act: } V_{xi} * (T_{mi-a})^{N_p}$$

Donde:

- V_{xi} : costo en el año i .
- T_{mi-a} : promedio de la tasa de inflación entre el año i y la del 2012.
- N_p : Numero de periodos de años, entre el año i y el 2012.

El valor promedio de la tasa de inflación, se ha determinado con los valores de cada país³.

En el caso de que los datos de estimación de costos provengan de los Estados Unidos, la actualización de precios se ha realizado de acuerdo al procedimiento establecido en los manuales de estimación de costos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales como son: EPA, 1978, 1983 y Sharma J.R., 2010. Según esta metodología los costos se actualizan de acuerdo al índice de precios dedicados a la construcción, Cost Construction Index (CCI), publicado por la revista Engineering News Record⁴. La ecuación de actualización del valor de costos en los EEUU es la siguiente:

$$\text{Valor Act: } V_{xi} * (ERNC_a/ERNC_i)$$

¹ Las tasas de cambio de moneda utilizadas para la estimación de costos son las de octubre de 2013: 1€ 1,3524 US\$; 1 US\$=504 CLP.

² Valor actualizado adaptado de Santandreu, P., 2000. Matemática financiera. 3ª Edición. Ed. Gestión 2000.

³ <http://es.global-rates.com/>

⁴ http://enr.construction.com/economics/historical_indices/ (el acceso a datos históricos no es libre).

Donde:

- V_{xi} : costo en el año i .
- $ERNC_a$: Cost Construction Index en la fecha actual (Octubre 2013)
- $ERNC_i$: Media anual de Cost Construction Index en el año i

e) Estimación de las funciones de costos de inversión y operación y mantención de las tecnologías:

Para la estimación de las funciones de costos se ha seguido la metodología de factor de capacidad, que permite determinar los costos de acuerdo al alcance de la información disponible para la determinación del costo de la instalación/operación de la tecnología. Esta metodología es recogida por la Asociación para el Desarrollo en Ingeniería de Costos (AAEC: Association for the Advancement of Cost Engineering), de acuerdo al nivel de información disponible y al orden de magnitud esperado de la estimación (bajo grado de información sobre las variables que influyen en el costo final de la tecnología). La metodología se basa en evaluar el costo de una nueva planta a partir de datos reales de una tecnología similar y con un diseño de parámetro conocido. La metodología se basa en la relación no lineal entre capacidad y costo, tal y como sigue:

$$C_a = C_b * (Q_a/Q_b)^n$$

Donde:

- C_a : Costo de la tecnología que se quiere estimar
- C_b : Costo de la tecnología conocida
- Q_a : Caudal de diseño de la tecnología a estimar el costo
- Q_b : Caudal de diseño de la tecnología con costo conocido
- n : factor de Williams

El valor del exponente, n , se define para cada tecnología de acuerdo a la información publicada en la bibliografía de estimación de costos, y en caso que no estuviera disponible, se toma como exponente $0,6^5$. En el caso de la tecnología de lodos activados, UASB y BRM, no se ha aplicado la metodología del factor de capacidad para obtener la función de costos, ya que se han obtenido suficientes datos reales de costos en el rango de caudales requerido. En el resto de tecnologías el dato que se ha tomado para aplicar la metodología del factor de capacidad es el dato real más próximo al rango en que se aplica la metodología.

Cabe mencionar, que para el diseño de la curva de costos de inversión en las tecnologías en que se han obtenido datos reales en todo el rango de caudales requerido, no se ha desarrollado la metodología de factor de capacidad. La curva de costos de inversión se ha obtenido a partir de los datos reales.

A continuación se indica el exponente utilizado para cada tecnología.

Tabla 5. Valores de n en función de la tecnología para la estimación de la función costos de inversión

	Tecnología	Valor de n	Fuente
1	Desbaste	0,6	Dyssert, L.R., 2001
2	Tamizado	0,6	Dyssert, L.R., 2001
3	Cribado	0,6	Dyssert, L.R., 2001
4	Flotación	0,4	Ontario Ministry of the Environment, 1991
5	Filtración	0,65	Ontario Ministry of the Environment, 1991
6	Sedimentación	0,5	Ontario Ministry of the Environment, 1991
7	Precipitación Química	0,6	Dyssert, L.R., 2001
8	Neutralización	0,6	Ontario Ministry of the Environment, 1991
9	Coagulación -Floculación	0,6	Dyssert, L.R., 2001
10	Filtros Biológicos (flujo horizontal y vertical)	0,6	Dyssert, L.R., 2001
12	SBR	0,6	Dyssert, L.R., 2001
13	BRI	0,6	Dyssert, L.R., 2001
15	EGSB	0,6	Dyssert, L.R., 2001

⁵ Valor del exponente más generalizado (Dyssert, L.R., 2001).

16	Biometanización	0,6	Dyssert, L.R., 2001
17	Lagunas de oxidación	0,6	Dyssert, L.R., 2001
19	Ósmosis inversa	0,6	Dyssert, L.R., 2001
20	Electrodesionización	0,6	Dyssert, L.R., 2001
21	RALF	0,3	Dyssert, L.R., 2001
22	Electrodiálisis	0,6	Dyssert, L.R., 2001
24	Nanofiltración	0,6	Dyssert, L.R., 2001
25	Adsorción por carbón activado	0,6	Dyssert, L.R., 2001
27	Ozonización	0,6	Dyssert, L.R., 2001
28	Electrocoagulación	0,6	Dyssert, L.R., 2001

A partir de la curva que mejor se ajuste al conjunto de valores estimados a partir del factor de capacidad y datos reales se definirá la ecuación de costos.

Para la estimación de los costos de operación y mantenimiento, se ha evaluado los porcentajes característicos publicados en la bibliografía. Así mismo en aquellos casos en que no se podría determinar con confianza los porcentajes característicos, se determinó este valor a partir del factor de capacidad. A continuación se indican los valores del factor n para las tecnologías en que se ha aplicado este método para la estimación de la función de costos de operación y mantenimiento.

Tabla 6. Valores de n en función de la tecnología para la estimación de la función de costos de operación y mantenimiento cuando se ha aplicado la metodología de factor de capacidad.

	<i>Tecnología</i>	<i>Valor de n</i>	<i>Fuente</i>
1	Desbaste	0,6	Dyssert, L.R., 2001
2	Tamizado	0,6	Dyssert, L.R., 2001
3	Cribado	0,6	Dyssert, L.R., 2001
4	Flotación	0,7	Estimado a partir de los valores publicados en Ontario Ministry of the Environment, 1991
8	Neutralización	0,97	Estimado a partir de los valores publicados en Ontario Ministry of the Environment, 1991
10	Filtros Biológicos (lecho vertical)	0,6	Dyssert, L.R., 2001
15	EGSB	0,6	Dyssert, L.R., 2001
16	Biometanización	0,6	Dyssert, L.R., 2001
21	RALF	n.d	Experiencia piloto
22	Electrodialisis	0,6	Dyssert, L.R., 2001

- f) Estimación de la relación entre caudal de diseño y superficie requerida y de la relación entre costos de operación y eficiencia de remoción de parámetros por tipo de tecnología.

La superficie ocupada por cada tecnología depende de varios factores, entre ellos, el caudal a tratar, pero éste no es un factor único ni determinante, ya que en algunas tecnologías la superficie viene determinada por el modelo del fabricante o bien según el diseño de la ingeniería para el sistema completo para la depuración de RILES o de aguas servidas. Por lo tanto, es difícil estimar una única relación con el caudal a partir de los datos recogidos, por lo que se han indicado los valores encontrados en las referencias y los entregados por los proveedores, indicando un orden de magnitud en cuanto al área ocupada en cada tecnología en las fichas tecnológicas.

En cuanto a la estimación de la relación entre los costos de operación y la eficiencia de remoción de parámetros en cada tecnología, esta última variable no sufre variaciones según el costo de operación, ya que se considera que cada tecnología tiene, de acuerdo a sus procesos para el abatimiento de determinados contaminantes, un porcentaje de remoción asociado. Las operaciones de mantención favorecen conseguir el porcentaje de remoción requerido y la vida útil de la tecnología. Además, los costos de mantención

entregados en este proyecto se han relacionado con el caudal de diseño de la tecnología para la obtención de las funciones de costos.

Sin embargo, a partir de la información recopilada, es posible realizar un análisis comparativo entre tecnologías de los costos de operación y mantenimiento y la eficiencia de remoción, para un mismo caudal de diseño. A continuación, la siguiente figura muestra un ejemplo de un posible análisis comparativo de los costos de operación y mantenimiento, y de la eficiencia de remoción para la DBO₅ (caudal de diseño 10 m³/h) entre las tecnologías de precipitación química, neutralización, filtros biológicos, lodos activados y adsorción por carbón activado. De esta forma se evalúa cuál de las tecnologías presenta un menor/mayor costo de operación y mantenimiento de acuerdo al porcentaje de remoción de un parámetro.

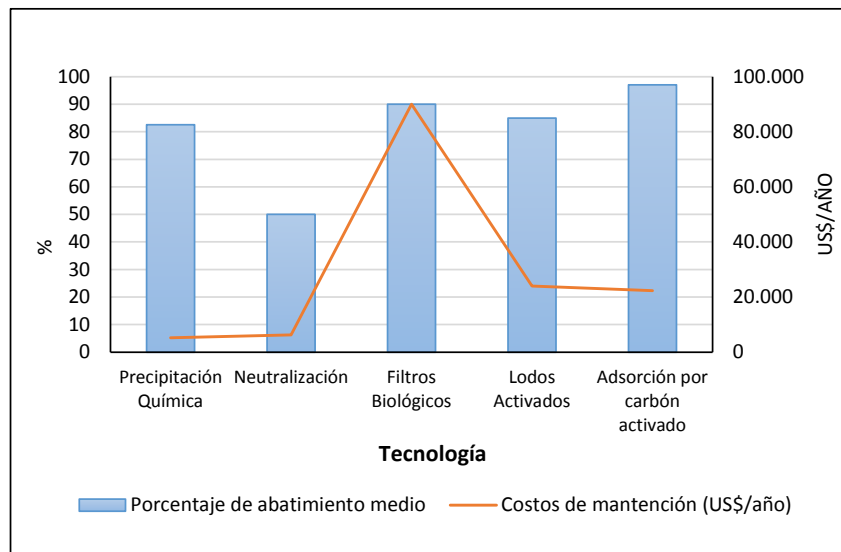


Figura 1. Costos de operación y mantenimiento para un caudal de 10 m³/h y eficiencia de remoción de la DBO₅ para 5 tecnologías.

g) Consolidación de la base de datos:

Las características de las tecnologías, los datos de costos de inversión, operación y mantenimiento, las tecnologías de abatimiento comunes en los rubros y las interacciones y compatibilidades entre tecnologías se han recopilado en una base de datos en planilla Excel (Anexo D_BD-TecAbat).

3. Caracterización de efluentes por rubros y/o industrias

La caracterización de las fuentes emisoras por rubros e industrias se ha realizado a partir de la información existente en las bases de datos asociadas a los controles periódicos de los RILES para comprobar si las industrias exceden los límites establecidos de acuerdo al DS 90 y del DS 609

La base de datos del DS 90 contiene datos de controles físico-químicos, correspondientes al periodo 2006 – 2009, de 995 puntos de descarga de 764 empresas. La base de datos del DS 609 contiene la información relativa a los parámetros físico-químicos medidos en las descargas que van a parar a alcantarillas y que pueden tener como destino final una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), emisarios submarinos, una laguna o bien sin PTA.

En total se han revisado y analizado 1.386.784 de valores analíticos entre los años 2006 a 2009. La información contenida en estas dos bases de datos ha sido integrada en una planilla Excel en formato Excel (Base datos NCAE), en el que las industrias se han clasificado según sección, división y grupo de actividad de acuerdo a la clasificación CIU (Clasificador Industrial Internacional Uniforme) publicada para Chile en el año 2007, consultada en el Instituto Nacional de Estadística⁶.

A continuación se describen los campos que componen la base de datos NCAE:

- *Sección*: grupo general de tipo de actividades que engloba un grupo de rubros. En total se han definido 14 secciones, entre las dos bases de datos.
- *División*: corresponde a una clasificación más específica de la industria, agrupando actividades similares en cuanto al producto producido o tipo de proceso.
- *Grupos*: describe en detalle el tipo de actividad realizada por la industria.
- *Clase*: describe en mayor detalle el tipo de actividad (define hasta cuatro dígitos del código CIU 2007).
- *CIU*: código de la actividad realizada por la industria que realiza la descarga de aguas residuales.

⁶ https://www.e-seia.cl/archivos/Anexo_1_CIU.cl_2007.pdf

- *N_agrupacion_empresa*: Nombre de la agrupación de rubro a la que pertenece la empresa en la etapa de caracterización físico-química de rubro
- *Identificación empresa*: nombre de la empresa en donde se realizando las medidas de los parámetro físico-químicas.
- *Punto de descarga*: identificación del punto de descarga de aguas residuales en una empresa en que se han realizado medidas.
- *Parámetro*: parámetros físico-químico analizado.
- *Símbolo*: símbolo del parámetro físico-químico analizado.
- *Condición*: determina si el parámetro físico-químico es típico de la industria (típico del RIL) o bien si es informado de la empresa.
- *Límite*: límite máximo o concentración máxima de emisión de un contaminante en las aguas residuales; este límite varía según normativa DS90 y DS609, y también en el primer caso depende del cuerpo de agua en el que se descargue el RIL.
- *Norma*: Si la industria ha medido el valor en el ámbito del DS90/2000 o DS609/1998, o bien el parámetro no es normado por ninguna de estas dos normativas.
- *Número de muestras analizadas*: número total de muestras analizadas para un parámetro en el período 2006-2009 para una industria y un punto de descarga.
- *Valor medido inferior*: resultado más bajo de todas las muestras analizadas para un parámetro en el período 2006-2009 para una industria y un punto de descarga.
- *Valor medido superior*: resultado más alto de todas las muestras analizadas para un parámetro en el período 2006-2009 para una industria y un punto de descarga.
- *Valor medido promedio*: promedio de todas las muestras analizadas para un parámetro en el período 2006-2009 para una industria y un punto de descarga.
- *Desviación estándar*: desviación estándar de todas las muestras analizadas para un parámetro en el período 2006-2009 para una industria y un punto de descarga.
- *Unidad de medida*: magnitud de medida de cada parámetro.

- *Número de muestras por encima del límite:* total de muestras para un dato medido de un punto de descarga de una empresa que se encuentra por encima del límite fijado para la emisión del contaminante medido para la empresa.
- *Tipo de muestreo:* si la muestra ha sido tomada mediante un muestreo compuesto, puntual discreto o continuo (solamente para DS 90).

La base de datos NCAE organiza la información de manera que se puede filtrar y clasificar las industrias de acuerdo a rubros e incluso según el tipo de industria identificando los valores medios emitidos para cada parámetro e indicando si estos son normados y/o típicos del RIL por rubro. A partir de la información recogida se han analizado los valores promedios para cada rubro en cuanto a los valores muestreados durante el periodo 2006-2009.

La siguiente tabla muestra los parámetros característicos de los residuos líquidos para cada ámbito de actividad económica identificado. En estas tablas se destaca en negrita aquellos parámetros más característicos para los que existe un valor límite de emisión definido en los documentos de referencia internacional analizados. Los datos analíticos de los parámetros más característicos analizados de acuerdo a los valores entregados en las bases de datos DS 90 y DS 609 por cada sector seleccionado se resaltan en negrita en las tablas de los numerales 3.1 y 3.2.

Tabla 7. Parámetros característicos de las aguas residuales de agricultura, ganadería, caza y silvicultura.

A - Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	
01 Agricultura, ganadería, caza y actividades conexas	
01-1: Cultivos en general; cultivo de productos de mercado; horticultura.	Parámetros característicos
01-11: Cultivo de cereales y otros cultivos n.c.p. (no clasificados previamente) 01-12: Cultivo de hortalizas y legumbres, especialidad hortícola y productos de viveros. 01-13: Cultivo de frutas, nueces, plantas cuyas hojas se utilizan para preparar bebidas y especias.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos ⁷
01-2: Cría de animales	Parámetros característicos
01-21: Cría de ganado vacuno y de ovejas, cabras, caballos, asnos, mulas y burdéganos, cría de ganado lechero. 01-22: Cría de otros animales; elaboración de productos animales n.c.p. (incluye cría de porcinos, aves, apicultura, entre otros)	DBO ₅ , N _T , P _T , Cu, Zn y TOC (Carbono orgánico Total)
01-3: Cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales (explotación mixta)	Parámetros característicos
Todo el grupo 01-3	DBO ₅ , S ²⁻ , N _T , P _T , S, Cu, Zn, TOC (Carbono orgánico Total) y AOX
02 Silvicultura, extracción de madera y actividades de servicios conexas	
02 Silvicultura, extracción de madera y actividades de servicios conexas	No se han determinado parámetros característicos para esta actividad.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recogida por el Ministerio de Medio Ambiente, 2007 sobre el EPER (European Pollutant Emission Register) Comisión Europea.

⁷ <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>

Tabla 8. Parámetros característicos de las aguas residuales de pesca.

B - Pesca	
05 Pesca, explotación criaderos de peces y granjas piscícolas; actividades de servicios relacionadas con la pesca.	
05-1: <i>Explotación de criaderos de peces y productos del mar en general (acuicultura); y servicios relacionados</i>	Parámetros característicos
051-01: Cultivo de especies acuáticas en cuerpo de agua dulce 051-02: Reproducción y crianzas de peces marinos 051-03: Cultivo, reproducción y crecimientos de vegetales acuáticos. 051-04: Reproducción y cría de moluscos y crustáceos	SST, N_T, P_T, DBO₅ , en otros países se incluye DQO. Antibióticos usados en la pesca: Acido oxolínico, Flumequina, Oxitetraciclina, Eritromicina, Florfenicol 50%, Amoxicilina, Sulfadoxina-Trimetropim, Emamectina, Cloramina -T, Bronopol ⁸
05-2: <i>Pesca extractiva y servicios relacionados.</i>	Parámetros característicos
052-01: Pesca industrial. 052-02: Barcos factorías. 052-03: Pesca artesanal. Extracción de recursos acuáticos, pescados, moluscos y crustáceos; incluye ballenas; excepto algas.	No se han determinado para las actividades de pesca industrial.

Fuente: SEIA (http://www.e-seia.cl/archivos/085_DIA_Piscicultura_Recirculacion.pdf) y Manual de acuicultura sostenible, Proyecto Europeo SUSTAIN AQUA, Sixth Framework Programme).

⁸ Antibióticos autorizados para su uso en acuicultura en Chile. Fuente: SAG, 2005, citado en Bravo, S. et al. (2005). Diagnósis del uso de fármacos y otros productos químicos en acuicultura. Universidad Austral de Chile.

Tabla 9. Parámetros característicos de las aguas residuales de explotación de minas y canteras.

C- Explotación de minas y canteras	
10 Extracción, aglomeración de carbón de piedra, lignito y turba	Parámetros característicos
10-0: Extracción, aglomeración de carbón de piedra, lignito y turba.	DQO, DBO, MES ⁹ , sales inorgánicas, P _T , Nitrógeno amoniacal, Cl, Cl ₂ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , fenoles, Fe, Mn, Hg, Cd, CN ⁻ .
13 Extracción de minerales metalíferos.	Parámetros característicos
13-1: Extracción de minerales de hierro. 13-2: Extracción de minerales metalíferos no ferrosos, excepto los minerales de cobre, uranio y torio (explotación de oro). 13-3: Extracción de cobre.	Varían en función del metal extraído. -Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ , metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). -Explotación Cu: pH, conductividad, S ²⁻ , metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). - Explotación Au y Ag: CN ⁻ , As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO ₄ ²⁻ .
14- Explotación de otras minas y canteras.	Parámetros característicos
14-1: Extracción de piedra, arena y arcilla. 14-2: Explotación de minas y canteras n.c.p.(extracción de sal, litio, nitratos, yodo, etc.	Sólidos suspendidos totales, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, etc.

Fuente: Elaboración propia a partir de borrador BREF (Best Available Techniques Reference report; documento de las Mejores Técnicas Disponibles de Referencia en Europa) e Informe de RILES del sector minero-metalúrgico y reutilización de aguas (M. Santander et al.) Revista de la Facultad de Ingeniería.

⁹ MES: Material en Suspensión: materiales filtrables.

Tabla 10. Parámetros característicos de las aguas residuales de industrias manufactureras.

D- Industrias manufactureras	
15 Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Parámetros característicos
15-1 Producción, procesamiento y conservación de carne, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas:	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-11: Producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos - Mataderos	
15-12 Elaboración y conservación de pescado y producto de pescado: producción de harinas de pescado, conservación de pescado	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-13: Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-14: Elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal (excluyendo mantequillas)	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-2: Elaboración de productos lácteos: elaboración de leche mantequilla, productos lácteos y derivados.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-3 Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón, y de alimentos preparados para animales.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-4 Elaboración de otros productos alimenticios (galletas, azúcar de remolacha, cacao y chocolates, confitería, macarrones y productos similares)	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-5 Elaboración de bebidas (piscos, vinos, malteadas y no alcohólicas).	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
15-51 Destilación, rectificación y mezclas de bebidas alcohólicas; producción de alcohol etílico a partir de sustancias fermentadas.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.

D- Industrias manufactureras	
15-52 Elaboración de vinos y otras bebidas alcohólicas fermentadas 15-53 Elaboración de bebidas malteadas, cervezas y maltas.	
15-541 Elaboración de bebidas no alcohólicas.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
18 Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles.	Parámetros característicos
18-1 Fabricación de prendas de vestir; (incluyendo cuero) excepto prendas de piel.	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl⁻.
18-2 Adobo y teñidos de pieles; fabricación de artículos de piel.	
19 Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería, y calzado.	Parámetros característicos
19-1 Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería.	DQO, DBO, SS, N_T, Cr_T, S²⁻, P_T, As, Cr, Cu, AOX, TOC, Cl⁻.

D- Industrias manufactureras	
20 Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables	Parámetros característicos
20-1 Aserrado y acepilladura de maderas. 20-2 Fabricación de productos de madera y corcho, paja y de materiales trenzables.	pH, DBO ₅ , DQO, Fenoles, Sulfitos, P _T , detergentes ¹⁰ , Fe, Color.
21 Fabricación de papel y productos del papel.	Parámetros característicos
21-0 Fabricación de papel y productos del papel. 21-02 Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón.	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T , Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
22 – Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones¹¹	Parámetros característicos
Todas las divisiones	DBO ₅ , DQO, SST, SSED, Grasas y Aceites, Fenoles, SAAM, Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb).
24 Fabricación de sustancias y productos químicos.	Parámetros característicos
24-1 Fabricación de sustancias químicas básicas: fabricación de abonos,	PO₄³⁻, NO₃⁻, F⁻, Nitrógeno amoniacal , metales (Cd, Cr, Cu, Hg, etc), AOX, SST.
24-2 Fabricación de otros productos químicos: 24-21 Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario.	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T , As, Pb, Zn, HCH, tolueno, etilbenceno y xileno.

¹⁰ No se definen que tipo de detergentes, por ese motivo se excluye cuando se realiza el análisis de parámetros característicos por rubro.

¹¹ Fuente: propuesta de la normativa para establecer los parámetros característicos para el vertimiento puntual al alcantarillado del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo de Colombia.

D- Industrias manufactureras	
24-22 Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares; tintas de imprenta y masillas	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBD, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difenileter, CN⁻ y F⁻
2423 Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC
2424 Fabricaciones de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBD, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difenileter, CN⁻ y F⁻
25 Fabricación de productos de caucho y plástico.	Parámetros característicos
25-1 Fabricación de productos de caucho 25-2 Fabricación de productos de plástico.	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBD, HCH, BTX, compuestos bromados de difenileter, CN⁻ y F⁻
26 Fabricación de otros productos minerales no metálicos.	Parámetros característicos
26-1 Fabricación de vidrios y productos de vidrio. 26-9 Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p. (cerámicas no refractarias y refractaria)	pH, SS, DQO, NT, SO₄²⁻, F⁻, Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Sn, Zn, Fenol, ácido bórico, aceite mineral y TOC.
27 Fabricación de metales comunes.	Parámetros característicos
27-1 Industrias básicas de hierro y acero.	SS, Aceite, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Sn, N_T, P_T, CN⁻, Fenoles, PAH, TOC.
27-2 Fabricación de productos primarios de metales	Cu, Pb, As, Ni, Cd, Zn, Cr, Hg, AOX,

D- Industrias manufactureras	
preciosos y metales no ferrosos.	PAH, TOC, Cl ⁻ , CN ⁻ , F ⁻
27-3 Fundición de metales.	SS, Aceite, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Sn, P_T, As, Cd, Cu, AOX, Fenoles, PAH, TOC, Cl⁻, CN⁻, F⁻.
36 –Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p¹²	Parámetros característicos
Todas las divisiones.	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recogida por el Ministerio de Medio Ambiente, 2007 sobre el EPER (European Pollutant Emission Register) Comisión Europea.

Tabla 11. Parámetros característicos de aguas residuales de suministro de electricidad, gas y agua.

E- Suministro de Electricidad, Gas y Agua	
40 Suministro de electricidad, gas, vapor y agua caliente	Parámetros característicos
40-1 Generación, captación y distribución de energía eléctrica 40-10-11 Generación hidroeléctrica	No se han determinado parámetros característicos para esta actividad.
401012 Generación en centrales termoeléctrica de ciclos combinados 401013 Generación en otras centrales termoeléctricas.	MES, SO₄²⁻, SO₃²⁻, S²⁻, F⁻, DQO, Hg, Zn, Cr, Cd, Cu, Pb, Ni, Compuestos nitrogenados, N_T, P_T, BTX, PAH, TOC, Cl⁻.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recogida por el Ministerio de Medio Ambiente, 2007 sobre el EPER (European Pollutant Emission Register) Comisión Europea.

¹²Fuente: propuesta de la normativa para establecer los parámetros característicos para el vertimiento puntual al alcantarillado del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo de Colombia.

Tabla 12. Parámetros característicos de aguas residuales de comercio.

G- Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores, efectos personales y enseres domésticos	
50 Venta, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicletas	Parámetros característicos
Todo el grupo	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.
51 - Comercio al por mayor y en comisión excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas	Parámetros característicos
Todo el grupo	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.
52 Comercio al por menor, excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas; reparación de efectos personales y enseres domésticos	Parámetros característicos
Todo el grupo	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales

Fuente: Elaboración propia a partir de la Directiva Europea 91/271/CEE.

Tabla 13. Parámetros característicos de aguas residuales de hoteles y restaurantes

H- Hoteles y restaurantes	
55 - Hoteles y restaurantes	Parámetros característicos
552 Restaurantes, bares y cantinas.	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Directiva Europea 91/271/CEE.

Tabla 14. Parámetros característicos de aguas residuales de actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler

K- Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	
70 - Actividades inmobiliarias	Parámetros característicos
Todas las divisiones	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Directiva Europea 91/271/CEE.

Tabla 15. Parámetros característicos de aguas residuales de centros de enseñanza.

M- ENSEÑANZA	
80 Enseñanza	Parámetros característicos
802 Enseñanza secundaria. 803 Enseñanza superior.	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas. Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Directiva Europea 91/271/CEE.

Tabla 16. Parámetros característicos de aguas residuales en servicios sociales y de salud.

N- SERVICIOS SOCIALES Y DE SALUD	
85 – Servicios sociales y de salud	Parámetros característicos
Todas las divisiones.	Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas, incluyendo el análisis de coliformes totales como más característico de este RIL. ¹³ Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y Coliformes totales.

Tabla 17. Parámetros característicos de aguas residuales de otros servicios.

O- OTRAS ACTIVIDADES DE SERVICIOS COMUNITARIOS, SOCIALES Y PERSONALES	
90-Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	Parámetros característicos
90001 y 90003 Servicios de vertederos 90004 Servicios de evacuación de riles y aguas servidas.	- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC. - Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn). - Tratamiento para aguas de riego:

¹³ No se ha demostrado riesgo de contagio de infecciones por el desecho de sangre y derivados al alcantarillado, debido a la carga microbiológica aportada es despreciable comparada con la comunitaria, por el efecto de dilución que sufre al ingresar al sistema. (Araujo, M. 2001).

	<p>DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p> <p>- Vertederos: No se permite vertido de aguas residuales de la propia instalación a excepción de las procedentes de las oficinas (asimilables a aguas residuales urbanas).</p>
<p>91-Actividades de asociaciones n.c.p 92 – Actividades de esparcimiento y actividades culturales y deportivas 93 - Otras actividades de servicios</p>	<p>Parámetros característicos</p>
<p>Todas las divisiones</p>	<p>Se consideran los parámetros característicos para aguas residuales urbanas.</p> <p>Sólidos disueltos totales, DBO₅, DQO, N_T, P_T, Cl⁻, SO₄²⁻, aceites y grasas, COV y coliformes totales.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recogida por el Ministerio de Medio Ambiente, 2007 sobre el EPER (European Pollutant Emission Register) Comisión Europea.

En las tablas anteriores se presentan los parámetros característicos de las aguas residuales procedentes de diferentes actividades económicas según diversas fuentes de referencia a nivel nacional e internacional.

A continuación se detallan los resultados obtenidos a través del tratamiento estadístico de los controles analíticos realizados durante el período 2006-2009 por las empresas chilenas, agrupando estos resultados por rubros. Los resultados se presentan en tablas donde se detallan los valores promedio de todas las empresas de un mismo rubro identificando el valor promedio del parámetro analizado, el valor superior promedio, el límite permitido, el número de análisis realizado y el número de análisis cuyo resultado supera el límite permitido. En negrita se destacan los parámetros más característicos de cada rubro.

Cabe indicar que en el tratamiento de estos datos se ha revisado la variabilidad de los mismos a partir de la desviación típica, y a la vez, se han identificado aquellos valores anómalos que entregaban valores finales erróneos.

Seguidamente se describen los campos de los parámetros analizados por cada rubro:

- Valor medio: promedio de los valores medidos para cada parámetro en las industrias del sector.
- Valor superior promedio: promedio de los valores máximos medidos para cada parámetro en las industrias de cada sector.
- Límite aceptado: límite de emisión máximo permitido para cada parámetro en el sector. El límite depende del cuerpo de agua donde la empresa vierte sus aguas residuales.
- Número de muestras analizadas: número total de medidas realizadas para un parámetro por las industrias de un sector.
- Número de muestras que superan el límite.
- % de muestras que superan el límite.

3.1 Caracterización físico-química por rubros de los datos de la base de datos del DS 90

Tabla 18. Caracterización físico química del sector ganadería (cría de animales en Chile).

Ganadería (cría de animales)							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	69,5	159,4	20; 50; 350	832	120	14,4%
Aluminio	mg/l	0,90	4,45	5; 10	229	2	0,9%
Arsénico	mg/l	0,005	0,005	0,01	25	0	0,0%
Benceno	mg/l	0,02	0,20	0,01	24	1	4,2%
Boro	mg/l	0,23	0,23	3; 0,75	2	0	0,0%
Cadmio	mg/l	0,004	0,004	0,01	6	0	0,0%
Caudal	m ³ /día	1.830,0	5.744,0	variable	3.266	660	20,2%
Cianuro	mg/l	0,030	0,043	0,2	7	0	0,0%
Cloruros	mg/l	910,2	2.413,3	400; 2000	218	43	19,7%
Cobre total	mg/l	0,80	1,30	1	14	6	42,9%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	92.317,0	114.287,0	1.000	329	51	15,5%
Cromo hexavalente	mg/l	0,015	0,016	0,05; 0,2	11	0	0,0%
DBO₅	mg O₂/l	273,3	551,6	35 y otros	719	179	24,9%
Fluoruros	mg/l	0,14	0,14	1,5	2	0	0,0%
Fósforo	mg/l	19,9	44,4	10; 15	649	118	18,2%
Hidrocarburos fijos	mg/l	7,4	11,0	10	42	6	14,3%
Hidrocarburos totales	mg/l	2.011,4	10.037,0	10	5	1	20,0%
Hierro disuelto	mg/l	1,1	1,8	5	88	1	1,1%
Índice de fenol	mg/l	0,002	0,002	1	1	0	0,0%
Manganeso total	mg/l	0,59	0,70	0,3	10	8	80,0%
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0,001	28	0	0,0%
Molibdeno	mg/l	0,04	0,07	1	7	1	14,3%
Níquel	mg/l	0,04	0,04	0,2; 0,5	10	0	0,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	5,6	70,9	10	24	3	12,5%
Nitrógeno amoniacal	mg/l	38,1	38,1	50	1	0	0,0%
Nitrogeno total Kjeldahl	mg/l	140,6	318,9	50; 75	717	132	18,4%

Ganadería (cría de animales)							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Nitrógeno total	mg/l	1,6	5,9	10	84	0	0,0%
Pentaclorofenol	mg/l	0,001	0,001	0,01	1	0	0,0%
pH	unidades pH	7,1	8,2	8,5; 9	7.006	60	0,9%
Plomo	mg/l	0,042	0,046	0,05	6	3	50,0%
Poder espumógeno	mm	4,1	9,1	7	519	37	7,1%
SAAM	mg/l	0,6	4,9	10; 15	64	0	0,0%
Selenio	mg/l	0,003	0,005	0,01	44	0	0,0%
Solidos sedimentables	mg/l	1,8	8,0	5; 50	286	0	0,0%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	492,3	833,0	80; 300; 700	854	163	19,1%
Sulfatos	mg/l	302,9	1.901,2	1.000; 2.000	168	2	1,2%
Sulfuros	mg/l	0,1	0,1	1; 10	3	0	0,0%
Temperatura	° C	17,3	22,9	35°C	5.003	0	0,0%
Tetracloroetano	mg/l	0,005	0,005	0,4	1	0	0,0%
Tolueno	mg/l	0,30	0,30	0,7	2	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,042	0,093	0,2; 0,5	11	0	0,0%
Xileno	mg/l	0,005	0,005	0,5	1	0	0,0%
Zinc	mg/l	2,3	3,6	3	33	3	9,1%

El tratamiento de los RILES del rubro de ganadería (cría de animales) presenta un importante potencial de mejora.

Así, algunos de sus parámetros más característicos presentan importantes porcentajes de las muestras que superan los límites establecidos respecto de las muestras analizadas: DBO₅ (25%); fósforo y nitrógeno total (según método Kjeldahl) con más de un 18%, respectivamente; el cobre con un 43% (pero de una muestra muy reducida, 6 de 14 muestras); y zinc con un 9,1%.

Del resto de los parámetros destacan los cloruros (19,7%), aceites y grasas (14,4%), coliformes fecales (15,5%) y los sólidos suspendidos (19,1%).

Además, para algunos centros productivos concretos se detectan valores superiores al límite relevante. Estos son el manganeso (80% de superación del límite, 8 de 10 muestras) y el plomo (50%, 3 de 6 muestras).

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto a los parámetros más típicos de RIL, este sector ha analizado todos los parámetros más característicos y que están incluidos en las normativas de calidad ambiental y de emisión, menos el arsénico. También falta medir el AOX, que solamente está considerado para la división del 013¹⁴ y el de TOC, este último no está incluido en las normativas de calidad de emisión (DS 90/ 609, normas primarias y secundarias).

Tabla 19. Caracterización físico química de la acuicultura en Chile.

Acuicultura (Criaderos de peces y granjas piscícolas)							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	13,7	56,3	20; 50; 350	10.735	144	1,3%
Aluminio	mg/l	0,09	0,19	1; 10	12	0	0,0%
Arsénico	mg/l	0,001	0,001	0,1; 1	2	0	0,0%
Boro	mg/l	1,44	3,35	0,75; 3	83	43	51,8%
Cadmio	mg/l	0,008	0,2	0,01; 0,3	117	1	0,9%
Cianuro	mg/l	0,06	0,06	0,5; 0,1	2	0	0,0%
Cloruros	mg/l	372	1.338	250; 400; 2000	7.516	286	3,8%
Cobre total	mg/l	0,92	12,7	0,1; 1; 3	146	12	8,2%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	135.758	650.412	1.000	1.395	55	3,9%
Cromo hexavalente	mg/l	0,015	0,015	0,2	2	0	0,0%
Cromo total	mg/l	0,015	0,055	0,5; 2,5	40	0	0,0%
DBO₅	mg O₂/l	78,8	1179,7	35; 60; otros	10.381	249	2,4%
Estaño	mg/l	0,1	0,1	0,5	1	0	0,0%
Fluoruros	mg/l	56,7	1575,4	1; 1,5; 5	62	2	3,2%
Fósforo	mg/l	2,36	104,5	2; 5; 10; 15	10.093	76	0,8%
Hidrocarburos volátiles	mg/l	1,81	10	2	10	1	10,0%

¹⁴ Cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales (explotación mixta).

Acuicultura (Criaderos de peces y granjas piscícolas)							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Hidrocarburos fijos	mg/l	6,15	9,9	10; 50	30	1	3,3%
Hidrocarburos totales	mg/l	13	180	50	34	1	2,9%
Hierro disuelto	mg/l	0,08	0,08	2; 10	2	0	0,0%
Índice de fenol	mg/l	0,5	0,5	0,5; 1	2	0	0,0%
Manganeso total	mg/l	0,02	0,04	0,5; 3; 4	12	0	0,0%
Mercurio	mg/l	0,001	0,017	0,005; 0,01; 0,02	41	1	2,4%
Molibdeno	mg/l	0,05	0,1	0,07; 0,1; 2,5	20	3	15,0%
Níquel	mg/l	0,058	0,064	0,5; 3	36	0	0,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	5,7	45,6	10	89	12	13,5%
Nitrógeno amoniacal	mg/l	24,8	89,3	-	40	0	0,0%
Nitrogeno total Kjeldahl	mg/l	19,6	213,2	10; 50; 75	8.658	162	1,9%
Nitrógeno total	mg/l	5,68	84	10	1.729	32	1,9%
Pentaclorofenol	mg/l	0,0047	0,005	0,01	34	0	0,0%
pH	unidades pH	7,29	8,25	8,5; 9	54.450	939	1,7%
Plomo	mg/l	0,067	1,62	0,2; 0,05; 1	116	4	3,4%
Poder espumógeno	mm	2	4,39	7	7.666	28	0,4%
SAAM	mg/l	2,31	31,5	10; 15	2.131	2	0,1%
Selenio	mg/l	0,001	0,001	0,01; 0,1	2	0	0,0%
Solidos sedimentables	mg/l	1,5	17	5; 50	5.898	67	1,1%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	55	252	80; 300; 700	10.994	119	1,1%
Sulfatos	mg/l	440,7	1550,5	250; 1.000	711	110	15,5%
Sulfuros	mg/l	12,65	173,5	1; 5	179	12	6,7%
Temperatura	° C	11	16,7	30°C; 35°C; 40°C	50.754	0	0,0%
Tetracloroetano	mg/l	0,009	0,01	0,04; 0,4	34	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,0098	0,013	0,2; 0,5	34	0	0,0%
Zinc	mg/l	0,35	7,75	1; 5; 20	128	1	0,8%

Según los resultados presentados en la tabla anterior se puede destacar que de los parámetros más característicos de los RILES de este rubro (DBO₅, fósforo, nitrógeno total, nitrógeno kjendahl y sólidos suspendidos totales) todos presentan un elevado cumplimiento de los límites establecidos donde más de un 97,5% de los análisis desarrollados presentan resultados que están dentro de los límites aceptables de emisión. En cuanto al resto de los parámetros analizados destacan los resultados del boro donde más de la mitad de las muestras analizadas superan el límite establecido de vertido (43 de las 83 muestras). A pesar del elevado porcentaje de desviación, en función de los resultados analizados las concentraciones detectadas no son muy superiores a los límites establecidos.

Otras desviaciones a considerar son las de nitritos y nitratos (13,5% de valores que superan el límite), los sulfatos (15,5%) y el molibdeno (15%), si bien en este último caso se trata sólo de 3 muestras que superan el límite establecido de un total de 20 muestras analizadas.

Medición de parámetros típicos de RIL

El rubro de acuicultura analiza todos los parámetros identificados como más característicos de RIL, sin embargo no se incluye el análisis de la presencia de los antibióticos más usados en la acuicultura en Chile. La falta de caracterización de estos parámetros dificulta tener valores representativos para determinar valores característicos de los mismos.

Tabla 20. Caracterización físico química del sector de la minería.

Minería							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	8,7	16,7	20	540	4	0,7%
Aluminio	mg/l	14,5	34,5	5	739	88	11,9%
Arsénico	mg/l	0,4	3,6	0,5	863	42	4,9%
Boro	mg/l	1,2	2,4	0,75	640	56	8,8%
Cadmio	mg/l	0,015	0,042	0,01	931	73	7,8%
Caudal	m ³ /día	5.924	15.325	variable	6108	2699	44,2%
Cianuro	mg/l	0,05	0,17	0,2	783	5	0,6%

Minería							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Cloruros	mg/l	300	424	400	631	28	4,4%
Cobre total	mg/l	42,0	74,5	1	917	77	8,4%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	782	24.702	1.000	124	4	3,2%
Conductividad	µS/cm	259	4.140	sin limite	37	0	0,0%
Cromo hexavalente	mg/l	0,04	0,11	0,05	865	4	0,5%
Cromo total	mg/l	0,03	0,05	2,5	73	0	0,0%
DBO ₅	mg O ₂ /l	46	116	35	510	28	5,5%
Estaño	mg/l	0,07	0,30	0,5; 1	76	0	0,0%
Fluoruros	mg/l	5,8	50,8	1,5	745	95	12,8%
Fósforo	mg/l	0,36	1,06	10; 15	513	0	0,0%
Hidrocarburos volátiles	mg/l	0,02	0,05	1	71	0	0,0%
Hidrocarburos fijos	mg/l	100	356	10	572	7	1,2%
Hidrocarburos totales	mg/l	24	1.483	10	74	2	2,7%
Hierro disuelto	mg/l	4,5	12,4	5	736	37	5,0%
Hierro total	mg/l	2,1	11,2	5	128	3	2,3%
Índice de fenol	mg/l	0,04	0,13	0,5	426	1	0,2%
Manganeso total	mg/l	5,3	9,9	0,3	928	189	20,4%
Mercurio	mg/l	0,001	0,005	0,001	824	8	1,0%
Molibdeno	mg/l	0,23	0,50	1	898	11	1,2%
Níquel	mg/l	0,14	0,44	0,2	745	37	5,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	6,4	17,6	10	31	7	22,6%
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	2,0	5,9	10; 50; 75	530	2	0,4%
Pentaclorofenol	mg/l	0,005	0,005	0,009	373	0	0,0%
pH	unidades pH	7,4	8,6	8,5	9577	226	2,4%

Minería							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Plomo	mg/l	0,09	0,30	0,05	902	52	5,8%
Poder espumógeno	mm	3,4	6,0	7	580	1	0,2%
SAAM	mg/l	0,37	2,40	10	76	0	0,0%
Selenio	mg/l	0,010	0,137	0,01	693	50	7,2%
Sólidos sedimentables	mg/l	2,5	150,0	5	76	2	2,6%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	240	860	80; 300	964	91	9,4%
Sulfatos	mg/l	1.037	1.823	1.000; 2.000	782	152	19,4%
Sulfuros	mg/l	1,5	49,4	1	814	11	1,4%
Temperatura	°C	24,7	138,3	35°C	7842	40	0,5%
Tetracloroetano	mg/l	0,01	0,11	0,04	374	9	2,4%
Tolueno	mg/l	0,19	0,20	0,7	374	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,01	0,05	0,2	373	0	0,0%
Turbiedad	NTU	24,5	96,6	sin limite	77	0	0,0%
Xileno	mg/l	0,2	0,2	0,5	374	0	0,0%
Zinc	mg/l	2,4	6,3	3	894	69	7,7%

Los RILES de la minería presentan un cumplimiento superior al 90% para los parámetros característicos. Sólo el aluminio (11,9%) y el manganeso (20,4%) superan el 10% de datos que superan el límite establecido. También cabe destacar los nitritos y nitratos (22,6% de medidas por encima del límite) y los sulfatos (19,4%).

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto a los valores de los parámetros característicos para este rubro, se han medido todos los parámetros de acuerdo al DS 90. No se han obtenido valores de medidas de potasio ni de sólidos disueltos, esta última medida incluida en las normas de calidad secundaria. En este caso se han incluido como parámetros característicos los metales

informados para la explotación del cobre y del oro y de la plata: As, Ni, Hg, Pb, Al, Cu y SO_4^{2-} .

Tabla 21. Caracterización físico química del sector de la industria manipulación de carne y pescado

Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	32,9	183,4	20; 50; 350	1.378	201	14,6%
Aluminio	mg/l	1,95	21,5	5	93	9	9,7%
Arsénico	mg/l	0,005	0,005	0,5	1	0	0,0%
Boro	mg/l	0,07	0,07	0,75	1	0	0,0%
Cadmio	mg/l	0,001	0,001	0,01	1	0	0,0%
Caudal máximo	m ³ /día	63	160	variable	25	18	72,0%
Cianuro	mg/l	0,1	0,1	0,2	1	0	0,0%
Cloro libre residual	mg/l	0,48	0,92	1	81	0	0,0%
Cloruros	mg/l	676	1.492	250; 400; 2000	186	36	19,4%
Cobre total	mg/l	0,02	0,02	1	1	0	0,0%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	21.600	430.380	1.000	964	149	15,5%
Cromo hexavalente	mg/l	0,01	0,01	0,05	1	0	0,0%
DBO₅	mg O₂/l	611	1825	35; 60; otros	1.069	366	34,2%
Fluoruros	mg/l	0,1	0,1	1,5	1	0	0,0%
Fósforo	mg/l	15,3	195	2; 5; 10; 15	950	184	19,4%
Hidrocarburos fijos	mg/l	7,72	11,5	10	30	1	3,3%
Hidrocarburos totales	mg/l	1,75	15,17	20	56	0	0,0%
Hierro disuelto	mg/l	1,7	34,94	5	82	1	1,2%
Hierro total	mg/l	1,6	2,92	5	6	0	0,0%
Índice de fenol	mg/l	0,07	0,3	0,5; 1	56	0	0,0%

Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Manganeso total	mg/l	0,13	0,13	0,3	2	0	0,0%
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0,001	1	0	0,0%
Molibdeno	mg/l	0,02	0,02	1	1	0	0,0%
Níquel	mg/l	0,05	0,05	0,2	1	0	0,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	11,54	221,6	10	62	5	8,1%
Nitrógeno amoniacal	mg/l	89,3	129,9	50	8	4	50,0%
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	48,8	193	10; 50; 75	1.061	213	20,1%
Nitrógeno total	mg/l	246	857,5	10	16	16	100,0%
Pentaclorofenol	mg/l	0,019	0,238	0,01	37	1	2,7%
pH	unidades pH	7,05	8,6	8,5; 9	12.009	115	1,0%
Plomo	mg/l	0,03	0,03	0,05	1	0	0,0%
Poder espumógeno	mm	4,16	13	7	601	66	11,0%
SAAM	mg/l	68,86	8,29	10; 15	368	2	0,5%
Selenio	mg/l	0,001	0,001	0,01	1	0	0,0%
Sólidos sedimentables	mg/l	4,87	27	5; 50	1.139	14	1,2%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	208	908	80; 300; 700	1.385	232	16,8%
Sulfatos	mg/l	156	420	1.000; 2.000	60	0	0,0%
Sulfuros	mg/l	1,04	12	1; 5	96	5	5,2%
Temperatura	°C	16	26,4	35°C; 40°C	7.034	1	0,0%
Tetracloroetano	mg/l	0,02	0,35	0,04, 0,4	167	8	4,8%
Tolueno	mg/l	6,14	68,03	0,7	36	22	61,1%
Triclorometano	mg/l	0,05	0,52	0,2; 0,5	167	6	3,6%
Xileno	mg/l	0,003	0,003	0,5	1	0	0,0%

Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Zinc	mg/l	0,17	0,17	3	1	0	0,0%

La principal conclusión del análisis de los resultados de este rubro es que todavía resta un importante grado de mejora en el tratamiento de sus RILES. En cuanto a los parámetros más característicos (en negrita y sobre celdas resaltadas en gris) se detecta que el número de muestras que superan los valores límites establecidos es superior al 15%.

Entre estos resultados destaca el correspondiente a la DBO₅ con un nivel de superación del valor límite del 34,2% de las muestras analizadas. Por su parte, fósforo y nitrógeno presentan desviaciones del valor límite en torno a un 20% de las muestras analizadas, mientras que aceites y grasas, y sólidos suspendidos totales superan los valores límite permitidos cerca de un 15% de los casos analizados.

En este punto es importante destacar las dificultades que se han detectado durante la realización del estudio en el análisis de determinados parámetros en los cuales el uso de punto (o coma) para separar la parte entera de la parte decimal del valor en cuestión ha generado problemas de cálculo mediante la hoja excel. Los principales parámetros en los que se ha detectado este problema han sido caudal, coliformes fecales y pH.

Por ejemplo, en este rubro, en el análisis de los resultados coliformes fecales se han discriminado un importante número de datos porque se trataba de valores anormalmente elevados. A pesar de esta discriminación, el valor medio resultante es muy superior al límite establecido, aunque sólo el 15,5% de las muestras superan dicho límite.

Estas dificultades se han encontrado en otros rubros especialmente en el análisis comparativo de caudales y pH. En el segundo caso el proceso de revisión (dato por dato) resulta relativamente sencillo puesto que la escala de pH se restringe entre valores de 0 a 14. Pero en el caso del caudal este problema ha sido mucho mayor porque en muchos casos aparecían datos aberrantes por la no existencia de puntos o comas o por la confusión entre ambos.

En cuanto al resto de los parámetros analizados y menos representativos del sector se comprueba un elevado cumplimiento de los límites establecidos por el DS 90, a excepción del Nitrógeno amoniacal (50% de superación); nitrógeno total (no Kjeldahl) (16 de 16 muestras superan el límite) y el tolueno con un 61% de desviación (22 de 36 muestras).

Medición de parámetros típicos de RIL

El sector de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado analiza todos los parámetros más característicos de sus RILES menos el parámetro MES y la DQO. Sin embargo el parámetro MES es complementario al valor de los SST, por lo que la falta de medición del mismo no es relevante. El rango de la DQO de este rubro se sitúa entre 2.000 y 60.000 mgO₂/l¹⁵. (Comisión Europea, 2006b).

Tabla 22. Caracterización físico química del sector de la industria de elaboración de productos lácteos en Chile.

Industria de Elaboración de Productos Lácteos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	121,1	648,0	20; 50	861	235	27,3%
Aluminio	mg/l	7,00	209,10	5	45	1	2,2%
Arsénico	mg/l	0,002	0,002	0,5	1	0	0,0%
Boro	mg/l	0,39	0,61	0,75	14	0	0,0%
Cadmio	mg/l	0,001	0,001	0,01	1	0	0,0%
Caudal	m ³ /día	1.839,0	23.188,0	variable	7.103	2.640	37,2%
Cianuro	mg/l	0,100	0,100	0,2	1	0	0,0%
Cloruros	mg/l	467,0	2.317,0	400; 2000	410	94	22,9%
Cobre total	mg/l	0,04	0,04	1	1	0	0,0%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	15.379,0	173.485,0	1.000	394	70	17,8%
Cromo hexavalente	mg/l	0,029	0,030	0,05	27	0	0,0%
DBO₅	mg O₂/l	1.927,0	4.750,0	35 y otros	846	344	40,7%

¹⁵ Industria transformación del pescado, el sector con mayor carga orgánica de este rubro.

Industria de Elaboración de Productos Lácteos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Fluoruros	mg/l	0,58	5,35	1,5	14	1	7,1%
Fósforo	mg/l	11,8	65	10; 15	701	181	25,8%
Hidrocarburos fijos	mg/l	9,5	23,0	10	55	10	18,2%
Hierro disuelto	mg/l	0,3	0,3	5	1	0	0,0%
Índice de fenol	mg/l	0,120	0,830	0,5	57	1	1,8%
Manganeso total	mg/l	0,26	6,02	0,3	45	1	2,2%
Mercurio	mg/l	0,001	0,006	0,001	43	1	2,3%
Molibdeno	mg/l	0,01	0,01	1	1	0	0,0%
Níquel	mg/l	0,05	0,05	0,2	1	0	0,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	440,0	3.519,0	15	16	2	12,5%
Nitrogeno total Kjeldahl	mg/l	113,4	397,3	50; 75	804	179	22,3%
Nitrógeno total	mg/l	13,7	49,0	10	49	19	38,8%
Pentaclorofenol	mg/l	0,250	0,250	0,01	29	1	3,4%
pH	unidades pH	6,7	9,0	8,5; 9	6.584	350	5,3%
Plomo	mg/l	0,030	0,030	0,05	1	0	0,0%
Poder espumógeno	mm	2,9	11,1	7	714	21	2,9%
Selenio	mg/l	0,011	0,002	0,01	15	0	0,0%
Solidos sedimentables	mg/l	0,1	0,1	20	2	0	0,0%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	394,0	1.329,0	80; 300	816	239	29,3%
Sulfatos	mg/l	29,8	76,0	1.000	24	0	0,0%
Sulfuros	mg/l	1,0	1,7	1	24	1	4,2%
Temperatura	° C	22,7	35,3	35°C; 40°C	7.142	50	0,7%
Tetracloroetano	mg/l	0,001	0,001	0,04	1	0	0,0%
Tolueno	mg/l	0,001	0,001	0,7	1	0	0,0%

Industria de Elaboración de Productos Lácteos							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Triclorometano	mg/l	0,001	0,001	0,2	1	0	0,0%
Xileno	mg/l	0,003	0,003	0,5	1	0	0,0%
Zinc	mg/l	0,06	0,08	3	14	0	0,0%

Las industrias del sector lácteo también presentan un importante margen de mejora en cuanto al tratamiento de sus aguas residuales. Así, en cuanto a los parámetros característicos de estos RILES se observa que, a excepción del pH, el resto de los parámetros presenta un porcentaje de muestras que superan los límites establecidos superior al 15%, destacando entre estos la DBO₅ (40,7% de datos por encima del límite), sólidos suspendidos totales (29,3%); aceites y grasas (27,3%); fósforo (25,8%); y nitrógeno total método Kjeldahl (22,3%). La desviación del nitrógeno total (No Kjeldahl) es aún mayor, alcanzando un 38,8% de valores por encima del límite establecido.

Del resto de parámetros cabe destacar que se comprueba un elevado cumplimiento de los límites a excepción de los cloruros (22,9% de superación del límite establecido) y del caudal, pero este parámetro ofrece muchas dudas en cuanto a la fiabilidad de sus datos.

Medición de parámetros típicos de RIL

En relación a los parámetros más característicos por RIL, este sector ha presentado resultados para todo ellos menos el parámetro MES y la DQO. Sin embargo este parámetro es complementario al valor de los SST, por lo que la falta de medición del mismo no es relevante. En cuanto al valor de la DQO, los rangos de las aguas residuales producidas por este rubro se encuentra entre 500 y 4.500 mgO₂/l (Comisión Europea, 2006b).

Tabla 23. Caracterización físico química del sector de la industria de Curtidos y Textil en Chile.

Industria de Curtidos y Textil							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	38,2	212,7	20; 50	145	27	18,6%
Aluminio	mg/l	7,20	7,20	5	1	1	100,0%
Cadmio	mg/l	1,680	5,030	0,01	26	5	19,2%

Industria de Curtidos y Textil							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Caudal	<i>m³/día</i>	903,0	5.120,0	variable	861	24	2,8%
Cloruros	<i>mg/l</i>	495,6	1.193,5	400; 2000	42	1	2,4%
Cobre total	<i>mg/l</i>	0,89	3,85	1	26	2	7,7%
Coliformes fecales	<i>NMP/100 ml</i>	1.600,0	1.600,0	1.000	10	10	100,0%
Cromo hexavalente	<i>mg/l</i>	0,190	2,720	0,05	68	6	8,8%
Cromo total	<i>mg/l</i>	4,340	16,400	10	14	3	21,4%
DBO₅	<i>mg O₂/l</i>	245,0	1.157,0	35 y otros	128	61	47,7%
Fósforo	<i>mg/l</i>	3,53	20,76	10; 15	92	9	9,8%
Manganeso total	<i>mg/l</i>	1,75	3,28	0,3	24	24	100,0%
Nitrogeno total Kjeldahl	<i>mg/l</i>	220,0	343,0	50; 75	118	43	36,4%
pH	<i>unidades pH</i>	7,6	9,7	8,5; 9	781	52	6,7%
Plomo	<i>mg/l</i>	0,037	0,070	0,05	50	1	2,0%
Poder espumógeno	<i>mm</i>	2,5	23,7	7	38	1	2,6%
SAAM	<i>mg/l</i>	1,4	2,1	10; 15	24	0	0,0%
Sólidos sedimentables	<i>mg/l</i>	17,6	114,5	20	53	29	54,7%
Sólidos suspendidos totales	<i>mg/l</i>	240,0	1.086,0	80; 300	141	36	25,5%
Sulfatos	<i>mg/l</i>	515,0	2.091,0	1.000	103	11	10,7%
Sulfuros	<i>mg/l</i>	1,3	16,6	1	80	3	3,8%
Temperatura	<i>° C</i>	19,5	30,0	35°C; 40°C	478	12	2,5%
Tetracloroetano	<i>mg/l</i>	0,074	0,074	0,04	1	1	100,0%
Zinc	<i>mg/l</i>	0,320	1,340	3	26	0	0,0%

Si bien los rubros de las empresas de curtidos y textiles no son demasiado importantes en cuanto al número de empresas productoras, sí que debe considerarse su importancia por su carga de contaminantes. Los tratamientos de los RILES deben ser más eficientes para reducir el número de datos por encima de los límites establecidos de sólidos sedimentables (54,7%), DBO5 (47,7%), nitrógeno (36,4%) y cromo total (21,4%; pero sólo 3 de 14 muestras).

Medición de parámetros típicos de RIL

El sector de curtidos y textil en Chile ha entregado los resultados analíticos de todos los parámetros más característicos de sus RILES menos para el AOX y el nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$, $N-NO_3$) y orgánico de la división de industrias incluidas en el código 181, el nitrógeno orgánico y la DQO. Los rangos de emisión de estos contaminantes, para varios tipos de industrias textiles son publicados en los trabajos de la Comisión Europea (2003b), para las industrias textiles:

- AOX (mg Cl/l): 0,13 – 2,5; Promedio: 0,65
- Amoniaco (mg/l): 0,6 – 170; Promedio 30,53
- DQO (mg IO_2 /l): 365 -1.945
- Nitrógeno orgánico (mg/l): 9,5 – 22,8

Tabla 24. Caracterización físico química del sector de la Industria de Fabricación de metales y Productos Elaborados de Metal en Chile.

Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	6,5	22,1	20	140	4	2,9%
Aluminio	mg/l	2,2	9,2	5	186	13	7,0%
Arsénico	mg/l	0,030	0,097	0,5	89	6	6,7%
Boro	mg/l	1,5	2,9	0,75	102	44	43,1%
Cadmio	mg/l	2,350	6,690	0,01	185	41	22,2%
Caudal	$m^3/día$	134	671	variable	1826	149	8,2%
Cianuro	mg/l	0,06	0,16	0,2	97	1	1,0%
Cloruros	mg/l	669	5368	400	70	24	34,3%
Cobre total	mg/l	32,5	64,0	1	122	25	20,5%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	3443	55.450	1.000	84	5	6,0%
Cromo hexavalente	mg/l	0,02	0,11	0,05	140	2	1,4%
DBO ₅	mg O ₂ /l	31	494	35	144	19	13,2%
Fluoruros	mg/l	23,6	64,0	1,5	109	23	21,1%
Fósforo	mg/l	1,78	12,40	10; 15	79	1	1,3%
Hidrocarburos fijos	mg/l	4	10	10	90	0	0,0%
Hierro disuelto	mg/l	0,3	0,7	5	120	0	0,0%

Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Hierro total	mg/l	10,9	55,3	5	42	22	52,4%
Índice de fenol	mg/l	0,08	0,30	0,5	79	0	0,0%
Manganeso total	mg/l	0,3	1,2	0,3	176	32	18,2%
Mercurio	mg/l	0,170	0,530	0,001	76	22	28,9%
Molibdeno	mg/l	17,70	411,50	1	103	13	12,6%
Níquel	mg/l	0,06	0,22	0,2	175	3	1,7%
Nitratos y Nitritos	mg/l	18,7	267,0	10	20	2	10,0%
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	4,2	22,6	10; 50; 75	122	0	0,0%
Pentaclorofenol	mg/l	0,450	1,350	0,009	65	9	13,8%
pH	unidades pH	7,6	8,7	8,5	810	30	3,7%
Plomo	mg/l	2,23	6,80	0,05	220	52	23,6%
Poder espumógeno	mm	1,7	5,8	7	64	1	1,6%
Selenio	mg/l	0,008	0,048	0,01	78	4	5,1%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	21	90	80; 300	142	2	1,4%
Sulfatos	mg/l	424	847	1.000; 2.000	195	25	12,8%
Sulfuros	mg/l	0,3	2,0	1	116	1	0,9%
Temperatura	° C	19,5	27,7	35°C	252	0	0,0%
Tetracloroetano	mg/l	0,01	0,04	0,04	34	0	0,0%
Tolueno	mg/l	0,01	0,20	0,7	33	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,02	0,20	0,2	35	1	2,9%
Xileno	mg/l	0,1	0,2	0,5	33	0	0,0%
Zinc	mg/l	1,0	7,9	3	160	2	1,3%

Las empresas de los rubros de fabricación de metales y de elaboración de productos elaborados de metal requieren mejorar el tratamiento de sus aguas residuales para reducir la concentración de los metales presentes en ellas.

Según la tabla anterior, se detecta un elevado número de muestras que superan los límites establecidos para diferentes contaminantes, se han detectado en los casos del hierro (52,4%); plomo (23,6%); cadmio (22,2%) y cobre (20,5%).

Del resto de parámetros que no son tan característicos del sector (según define el EPER, European Pollutant Emission Register), destaca la superación del límite establecido de una serie de parámetros, algunos de ellos altamente contaminantes, como es el caso del mercurio (28,9%, 22 de 76 muestras totales). El resto de parámetros que deben corregirse son boro (43,1% de superación de límite del DS 90); cloruros (34,3%); fluoruros (21,1%); manganeso (18,2%), pentaclorofenol (13,8%), sulfatos (12,8%) y molibdeno (12,6%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Las empresas de este sector han analizado casi todos los parámetros más característicos de sus RILES a excepción del Cromo y Estaño. De acuerdo con los datos publicados por Comisión Europea (2001a y 2001b) de industrias de fabricación y transformación de metales férricos y no férricos reportan los siguientes rangos de emisión para el Cr, Cr⁺⁶ y Sn:

Industria del metal férrea

- Cr:<0,18 mg/l
- Cr⁺⁶: 0 – 0,02 mg/l

Industria del metal no férrea

- Cr: 0,31 mg/l (industria del cobre)
- Sn:0,026 mg/l (industria del cobre)

Tabla 25. Caracterización físico química del sector de la Industria de Productos químicos en Chile.

Industria de Productos Químicos							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	12,0	21,5	20; 50	130	5	3,8%
Aluminio	mg/l	0,48	7,33	5	169	2	1,2%
Arsénico	mg/l	0,005	0,026	0,5	98	0	0,0%
Boro	mg/l	0,26	1,21	0,75	41	3	7,3%

Industria de Productos Químicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Cadmio	mg/l	0,016	0,340	0,01	121	1	0,8%
Caudal	<i>m³/día</i>	276,0	1.620,0	variable	3.035	550	18,1%
Cianuro	<i>mg/l</i>	0,057	0,075	0,2	56	0	0,0%
Cloruros	<i>mg/l</i>	33,1	154,0	400; 2000	98	0	0,0%
Cobre total	mg/l	0,02	0,07	1	98	0	0,0%
Coliformes fecales	<i>NMP/100 ml</i>	1.558,0	4.950,0	1.000	124	1	0,8%
Cromo hexavalente	<i>mg/l</i>	0,056	1,280	0,05	163	2	1,2%
Cromo total	mg/l	0,310	8,900	2,5	55	2	3,6%
DBO ₅	<i>mg O₂/l</i>	86,6	417,2	35 y otros	266	45	16,9%
Estaño	<i>mg/l</i>	0,1	0,4	0,5	28	0	0,0%
Fluoruros	<i>mg/l</i>	0,25	0,59	1,5	31	0	0,0%
Fósforo	<i>mg/l</i>	1,18	7,14	10; 15	193	2	1,0%
Hidrocarburos volátiles	<i>mg/l</i>	0,31	2,78	2	30	1	3,3%
Hidrocarburos fijos	<i>mg/l</i>	7,0	10,0	10	125	0	0,0%
Hidrocarburos totales	mg/l	78,0	2.252,0	50	30	1	3,3%
Hierro disuelto	<i>mg/l</i>	0,38	1,87	5	140	0	0,0%
Índice de fenol	mg/l	0,070	0,180	0,5	31	0	0,0%
Manganeso total	<i>mg/l</i>	0,83	2,66	0,3	114	13	11,4%
Mercurio	mg/l	0,0012	0,0105	0,001	56	2	3,6%
Molibdeno	<i>mg/l</i>	0,08	0,84	1	103	2	1,9%
Níquel	mg/l	0,09	1,70	0,2	88	1	1,1%
Nitratos y Nitritos	<i>mg/l</i>	1,3	1,3	15	1	0	0,0%
Nitrogeno total Kjeldahl	mg/l	6,4	31,8	50; 75	156	1	0,6%
Pentaclorofenol	<i>mg/l</i>	0,001	0,001	0,01	1	0	0,0%
pH	unidades pH	7,4	9,8	8,5; 9	4.200	90	2,1%
Plomo	mg/l	0,030	0,040	0,05	56	0	0,0%

Industria de Productos Químicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Poder espumógeno	<i>Mm</i>	2,2	9,0	7	204	4	2,0%
SAAM	<i>mg/l</i>	0,1	0,4	10; 15	30	0	0,0%
Selenio	<i>mg/l</i>	0,004	0,050	0,01	31	2	6,5%
Sólidos sedimentables	<i>mg/l</i>	0,1	0,5	20	55	0	0,0%
Sólidos suspendidos totales	<i>mg/l</i>	38,1	141,7	80; 300	223	9	4,0%
Sulfatos	<i>mg/l</i>	176,0	1.063,0	1.000	91	2	2,2%
Sulfuros	<i>mg/l</i>	0,2	2,3	1	131	2	1,5%
Temperatura	<i>º C</i>	19,3	31,4	35ºC; 40ºC	131	2	1,5%
Tetracloroetano	<i>mg/l</i>	0,002	0,002	0,04	1	0	0,0%
Tolueno	<i>mg/l</i>	0,007	0,007	0,7	1	0	0,0%
Triclorometano	<i>mg/l</i>	0,276	0,276	0,2	1	1	100,0%
Xileno	<i>mg/l</i>	0,003	0,003	0,5	1	0	0,0%
Zinc	<i>mg/l</i>	0,12	0,46	3	96	0	0,0%

El tratamiento de las aguas residuales de las empresas fabricantes de productos químicos que se rigen por el DS 90 es bastante eficiente. Todos los parámetros más característicos de estos RILES (sobre fondo gris y en negrita) cumplen con los límites establecidos en más de un 95% de los casos analizados. Sólo la DBO₅, con un 16,9% de número de muestras por encima de los límites y el manganeso, con un 11,4%; muestran desviaciones significativas. La única muestra de triclorometano también superó ligeramente el límite establecido, pero este es un dato muy puntual que no debe afectar al análisis global del sector.

Medición de parámetros típicos de RIL

En relación a los parámetros más característicos normados de los RILES del sector de productos químicos no se han obtenido valores para el AOX, fosfatos, nitratos, fluoruros,

nitrógeno amoniacal, DQO y TOC. Tampoco se informa sobre el benceno, aunque este no es un parámetro normado. Se han revisado los datos publicados en los documentos publicados por el IPPC sobre las industrias químicas (químicas orgánicas finas e inorgánicas). El valor máximo de emisión de AOX registrado para diferentes tipos de industrias de este rubro de empresas es de 1,7 mg/l. A continuación se indican los valores encontrados en la bibliografía para:

- DQO (mgO₂/l): 100 – 9.000
- Nitrógeno amoniacal (mg/l): 3,9 - 152

Tabla 26. Caracterización físico química del sector de la industria de Papel y Madera en Chile.

Industria de Papel y Madera							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	11,9	49,7	20; 50; 350	1.489	36	2,4%
Ácidos grasos	mg/l	0,19	1,80	0,27	341	17	5,0%
Ácidos resínicos	mg/l	0,17	1,79	0,033	341	18	5,3%
Aluminio	mg/l	3,91	129,00	5; 10	1.420	10	0,7%
AOX	mg/l	1,10	3,60	4,5; 7,6	1.622	1	0,1%
Arsénico	mg/l	0,001	0,001	0,5	170	0	0,0%
Bario	mg/l	0,04	0,10	sin límite	5	0	0,0%
Berilio	mg/l	0,03	0,10	sin límite	5	0	0,0%
Bioensayo Daphnia Magna	% dilución	0	0	0	39	0	0,0%
Boro	mg/l	0,33	0,68	0,75	75	38	50,7%
Cadmio	mg/l	0,006	0,009	0,01	969	5	0,5%
Caudal	m ³ /día	14.429	31.481	variable	12.614	4.429	35,1%
Caudal máximo	m ³ /día	62.236	81.601		1.036	0	0,0%
Cianuro	mg/l	0,067	0,088	0,2	267	0	0,0%
Cloratos	mg/l	0,67	18,90	17	1.453	0	0,0%
Cloro libre residual	mg/l	1,1	2,0	sin límite	17	0	0,0%
Clorofenoles	mg/l	0,07	0,37	0,067	341	18	5,3%
Cloruros	mg/l	750,0	1.051,0	400; 2000	743	3	0,4%
Cobalto	mg/l	0,0	0,1	sin límite	5	0	0,0%
Cobre total	mg/l	0,04	0,14	1	844	0	0,0%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	664,0	25.540,0	1.000	2.765	25	0,9%
Coliformes totales	NMP/100 ml	2,4	33,0	sin límite	177	0	0,0%
Color	UPC	27	135	sin límite	1.539	0	0,0%

Industria de Papel y Madera							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Color aparente	UPC	263	1.125	sin límite	167	4	2,4%
Color verdadero	UPC	214	447	sin límite	464	0	0,0%
Conductividad	$\mu S/cm$	1.749	27.985	4.000; otros	2.277	138	6,1%
Cromo hexavalente	mg/l	0,030	0,080	0,05	884	141	16,0%
Cromo total	mg/l	0,005	0,020	2,5	164	0	0,0%
DBO₅	mg O₂/l	83,7	311,4	35 y otros	2.534	136	5,4%
Dioxinas	mg/l	0,0	0,0	sin límite	6	0	0,0%
DQO	mg O₂/l	95,0	321,0	variable	1.576	18	1,1%
Fluoruros	mg/l	0,09	0,10	1,5	7	0	0,0%
Fósforo	mg/l	2,1	5,5	10; 15	3.152	8	0,3%
Fósforo soluble	mg/l	0,09	0,5	sin límite	8	0	0,0%
Hidrocarburos volátiles	mg/l	0,08	0,68	2	131	0	0,0%
Hidrocarburos fijos	mg/l	5,7	10,1	10	778	1	0,1%
Hidrocarburos totales	mg/l	7,2	11,4	50	300	0	0,0%
Hierro disuelto	mg/l	0,83	4,35	5	246	4	1,6%
Hierro total	mg/l	3,28	7,24	5	13	4	30,8%
Índice de fenol	mg/l	0,070	0,340	1393	2	0	0,0%
Litio	mg/l	0,020	0,060	sin límite	5	0	0,0%
Manganeso total	mg/l	0,29	0,80	0,3	319	17	5,3%
Mercurio	mg/l	0,0008	0,0034	0,001	900	2	0,2%
Molibdeno	mg/l	0,05	0,06	1	229	0	0,0%
Níquel	mg/l	0,06	0,55	0,2	1.034	1	0,1%
Nitratos	mg/l	0,18	0,50	sin límite	8	0	0,0%
Nitritos	mg/l	0,08	0,50	sin límite	8	0	0,0%
Nitratos y Nitritos	mg/l	6,9	18,3	15	4	1	25,0%
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,2	0,5	sin límite	8	0	0,0%
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	7,3	19,5	50; 75	2.819	14	0,5%
Nitrógeno orgánico	mg/l	0,9	3,0	sin límite	8	0	0,0%
Nitrógeno total	mg/l	1,0	3,2	sin límite	322	0	0,0%
Pentaclorofenol	mg/l	0,033	0,350	0,01	725	31	4,3%
Pesticidas organoclorados	mg/l	0,001	0,003	sin límite	5	0	0,0%

Industria de Papel y Madera							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Pesticidas organofosforados	mg/l	0,001	0,003	sin límite	5	0	0,0%
pH	unidades pH	7,2	8,2	8,5; 9	11.830	42	0,4%
Plomo	mg/l	0,028	0,060	0,05	898	1	0,1%
Poder espumógeno	mm	2,4	5,5	7	1.140	4	0,4%
SAAM	mg/l	0,4	2,1	10; 15	144	0	0,0%
Selenio	mg/l	0,001	0,001	0,01	7	0	0,0%
Sodio	mg/l	493	748		260	0	0,0%
Sólidos disueltos inorgánicos	mg/l	1.100	1.466	sin límite	8	0	0,0%
Sólidos disueltos orgánicos	mg/l	320	1.116	sin límite	8	0	0,0%
Sólidos sedimentables	mg/l	1,3	22,2	20	1.347	1	0,1%
Sólidos suspendidos inorgánicos	mg/l	3,3	16,0	sin límite	8	0	0,0%
Sólidos suspendidos orgánicos	mg/l	7,5	18,0	sin límite	8	0	0,0%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	65,0	210,0	80; 300	3.938	67	1,7%
Sulfatos	mg/l	394,0	646,0	1.000	949	3	0,3%
Sulfuros	mg/l	1,1	9,5	1	151	12	7,9%
Temperatura	°C	23,6	41,4	35°C; 40°C	12.377	18	0,1%
Tetracloroetano	mg/l	0,004	0,009	0,04	465	0	0,0%
Tolueno	mg/l	0,008	0,008	0,7	2	0	0,0%
Toxicidad	mg/l	0,1	1,0	-	8	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,03	0,20	0,2	511	0	0,0%
Turbiedad	NTU	3,360	6,000	sin límite	8	0	0,0%
Vanadio	mg/l	0,092	0,100	sin límite	5	0	0,0%
Xileno	mg/l	0,01	0,08	0,5	2	0	0,0%
Zinc	mg/l	0,1	0,4	3	983	0	0,0%

Los principales parámetros característicos de los rubros de la fabricación de madera, productos de madera (a excepción de muebles), de papel y de productos de papel muestran un elevado grado de cumplimiento de los límites establecidos por el DS 90. De estos parámetros más característicos sólo DBO₅ supera el 5% de la superación de los límites.

En cuanto al resto de parámetros controlados, también se comprueba un alto cumplimiento de los límites de vertido establecidos siendo destacables las excepciones del boro (50,7% de muestras que superan el límite establecido); el cromo hexavalente (16%), el hierro total (30,8%, pero de sólo 13 análisis totales realizados) y los nitritos y nitratos (25%, pero que corresponde a 1 de 4 muestras analizadas).

Medición de parámetros típicos de RIL:

Se han analizado todos los parámetros más característico de los RILES de este sector menos el MES y los sulfitos. Sin embargo, ambos no se consideran en las normas primarias, el DS 609, el DS 90 ni en las normas secundarias de Calidad Ambiental. En relación al MES, su medición es equiparable al de los SST.

Tabla 27. Caracterización físico química del sector de la industria de bebidas en Chile.

Industria de Bebidas							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	14,7	67,7	20; 50	336	37	11,0%
Aluminio	mg/l	1,04	2,80	5	74	1	1,4%
Arsénico	mg/l	0,006	0,006	0,5	1	0	0,0%
Boro	mg/l	0,79	1,01	0,75	69	3	4,3%
Cadmio	mg/l	0,006	0,006	0,01	1	0	0,0%
Caudal	m ³ /día	585	1.653	variable	8.351	688	8,2%
Cianuro	mg/l	0,010	0,010	0,2	1	0	0,0%
Cloruros	mg/l	76,1	161,2	400; 2000	70	0	0,0%
Cobre total	mg/l	0,02	0,10	1	57	0	0,0%

Industria de Bebidas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Coliformes fecales	<i>NMP/100 ml</i>	549	6.395	1.000	8.351	688	8,2%
Cromo hexavalente	<i>mg/l</i>	0,004	0,004	0,05	2	0	0,0%
DBO₅	<i>mg O₂/l</i>	696	1.735	35 y otros	1.034	312	30,2%
Fluoruros	<i>mg/l</i>	0,20	0,20	1,5	1	0	0,0%
Fósforo	<i>mg/l</i>	3,83	17,6	10; 15	946	55	5,8%
Hidrocarburos fijos	<i>mg/l</i>	1,8	1,8	10	1	0	0,0%
Hierro disuelto	<i>mg/l</i>	0,01	0,01	5	1	0	0,0%
Índice de fenol	<i>mg/l</i>	0,085	0,085	0,5	1	0	0,0%
Manganeso total	<i>mg/l</i>	4,90	184,90	0,3	137	10	7,3%
Mercurio	<i>mg/l</i>	0,001	0,001	0,001	60	0	0,0%
Molibdeno	<i>mg/l</i>	0,01	0,01	1	1	0	0,0%
Níquel	<i>mg/l</i>	0,51	0,51	0,2	1	1	100,0%
Nitratos y Nitritos	<i>mg/l</i>	1,9	5,3	15	62	0	0,0%
Nitrogeno total Kjeldahl	<i>mg/l</i>	15,4	64,2	50; 75	997	79	7,9%
Nitrógeno total	<i>mg/l</i>	5,4	56,6	10	86	1	1,2%
Pentaclorofenol	<i>mg/l</i>	0,005	0,005	0,01	1	0	0,0%
pH	<i>unidades pH</i>	7,4	8,5	8,5; 9	10.534	155	1,5%
Plomo	<i>mg/l</i>	0,050	0,050	0,05	1	0	0,0%
Poder espumógeno	<i>mm</i>	2,2	5,5	7	261	3	1,1%
Selenio	<i>mg/l</i>	0,003	0,003	0,01	2	0	0,0%
Solidos sedimentables	<i>mg/l</i>	0,1	0,1	20	2	0	0,0%

Industria de Bebidas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Sólidos suspendidos totales	mg/l	270,0	672,0	80; 300	1.042	169	16,2%
Sulfatos	mg/l	206	471	1.000	142	8	5,6%
Sulfuros	mg/l	0,2	1,1	1	74	1	1,4%
Temperatura	°C	18,9	25,8	35°C; 40°C	9.360	32	0,3%
Tetracloroetano	mg/l	0,010	0,010	0,04	1	0	0,0%
Tolueno	mg/l	0,002	0,002	0,7	1	0	0,0%
Triclorometano	mg/l	0,010	0,010	0,2	2	0	0,0%
Xileno	mg/l	0,002	0,002	0,5	1	0	0,0%
Zinc	mg/l	0,11	0,11	3	1	0	0,0%

El tratamiento de las aguas residuales de las industrias que deben cumplir el DS 90 resulta bastante eficiente, en general, y sólo presenta algunos parámetros donde la mejora debe ser notable ya que presenta más de un 10% de muestras que superan los límites establecidos. Estos parámetros son: DBO₅ (30,2%), sólidos suspendidos totales (16,2%) y aceites y grasas (11%). El resto de los parámetros, incluyendo nitrógeno y fósforo, cumplen los límites establecidos en más de un 90% de los casos analizados.

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto al análisis de los parámetros más característicos, este sector no ha entregado datos sobre todos los parámetros menos el MES y la DQO. El MES no es un parámetro normado, sin embargo ese parámetro característico de este rubro es equiparable con el SST. El rango de la DQO para industrias de la cervecera se encuentra entre 1800 y 3000 mgO₂/l. (Comisión Europea, 2006b).

Tabla 28. Caracterización físico química de plantas de tratamiento de RILES y aguas servidas en Chile con descarga en aguas marinas o continentales superficiales.

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas con descarga a aguas marinas y continentales superficiales							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	13,76	49,07	20; 50; 150	13914	390	2,8
Aluminio	mg/l	1,18	3,66	1; 5; 10; 20	110	0	0,0
Arsénico	mg/l	0,01	0,01	0,1; 0,2; 0,5; 1	12	0	0,0
Bario	mg/l	0,07	0,35	sin límite	7	0	0,0
Berilio	mg/l	0,00	0,00	sin límite	7	0	0,0
Boro	mg/l	2,24	3,10	0,75; 3	10	6	60,0
Cadmio	mg/l	0,01	0,01	0,01; 0,02; 0,3; 0,5	77	0	0,0
Caudal	m ³ /día	10.204	20.005	sin límite	5254	0	0,0
Caudal máximo	m ³ /día	35.307	310.478	sin límite	11445	0	0,0
Cianuro	mg/l	0,03	0,03	0,2; 0,5; 1	12	0	0,0
Cloruro	mg/l	139,34	214,82	400; 2000	202	18	8,9
Cobalto	mg/l	0,22	0,22	sin límite	10	0	0,0
Cobre total	mg/l	0,51	1,10	0,1; 1; 3	897	6	0,7
Coliformes Fecales	NMP / 100 ML	3420565	26581364	1000	26726	297	1,1
Coliformes totales	NMP / 100 ML	13190144	64065200	sin límite	357	0	0,0
Cromo hexavalente	mg/l	0,05	0,13	0,05; 0,2; 0,5	69	1	1,4
Cromo total	mg/l	0,03	0,04	2,5; 10	77	0	0,0
DBO sin algas	mg/l	20,42	60,34	sin límite	1079	0	0,0
DBO5	mg/l	48,63	136,73	35; 60; 300	16841	2929	17,4
DQO	mg/l	123,16	359,70	sin límite	7717	0	0,0
Estaño	mg/l	0,40	0,57	0,5; 1	107	0	0,0
Fluoruro	mg/l	0,52	0,66	1; 1,5; 5; 6	91	0	0,0
Fósforo	mg/l	6,49	14,53	2; 5; 10; 15	12656	2061	16,3
Hidrocarburo volátil	mg/l	0,28	1,14	1; 2	2029	5	0,2

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas con descarga a aguas marinas y continentales superficiales							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Hidrocarburos fijos	<i>mg/l</i>	5,66	9,58	10; 50	1548	0	0,0
Hidrocarburo totales	<i>mg/l</i>	5,86	11,80	5; 10; 20	1238	1	0,1
Hierro disuelto	<i>mg/l</i>	0,69	0,96	2; 5; 10	10	0	0,0
Hierro total	<i>mg/l</i>	5,23	5,31	sin límite	19	0	0,0
Índice Fenol	<i>mg/l</i>	0,04	0,13	0,5; 1	513	0	0,0
Ltío	<i>mg/l</i>	0,89	1,36	sin límite	7	0	0,0
Manganeso total	<i>mg/l</i>	2,97	5,06	0,3; 0,5; 2; 3; 4	93	1	1,1
Mercurio	<i>mg/l</i>	1,20	1,20	0,001; 0,005; 0,01; 0,02	78	0	0,0
Molibdeno	<i>mg/l</i>	0,11	0,27	0,07; 0,1; 0,5; 1; 2,5	109	0	0,0
Níquel	<i>mg/l</i>	0,06	0,08	0,2; 0,5; 2; 3; 4	77	0	0,0
Nitratos	<i>mg/l</i>	1,91	9,78	sin límite	391	0	0,0
Nitritos	<i>mg/l</i>	2,14	3,52	sin límite	192	0	0,0
Nitrógeno amoniacal	<i>mg/l</i>	10,19	17,31	sin límite	553	0	0,0
Nitrógeno Kjeldahl	<i>mg/l</i>	19,50	48,47	10; 50; 75	12293	781	6,4
Pentaclorofenol	<i>mg/l</i>	0,00	0,00	0,009; 0,01	16	0	0,0
pH	-	7,20	9,15	8,5; 9	26545	53	0,2
Plata total	<i>mg/l</i>	0,00	0,00	sin límite	7	0	0,0
Plomo	<i>mg/l</i>	0,03	0,08	0,05; 0,2; 0,5; 1	77	1	1,3
Poder espumogeno	<i>mm</i>	2,15	4,21	7	11352	28	0,2
SAAM	<i>mg/l</i>	1,54	6,91	10; 15	2349	4	0,2
Selenio	<i>mg/l</i>	0,00	0,00	0,01; 0,03; 0,1	90	0	0,0
Sólidos sedimentables	<i>mg/l</i>	2,74	8,80	5; 20	2038	6	0,3

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas con descarga a aguas marinas y continentales superficiales							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Sólidos Suspendidos totales	<i>mg/l</i>	46,37	165,54	80; 100; 300	15674	705	4,5
Sulfato	<i>mg/l</i>	154,53	230,88	1000; 2000	60	0	0,0
Sulfuros	<i>mg/l</i>	0,39	2,54	1; 5; 10	210	0	0,0
Temperatura	<i>°C</i>	16,74	25,05	30; 35; 40	25930	4	0,0
Tetracloroetano	<i>mg/l</i>	0,01	0,02	0,04; 0,4	6617	20	0,3
Triclorometano	<i>mg/l</i>	0,01	0,08	0,2; 0,5	6618	17	0,3
Vanadio	<i>mg/l</i>	0,01	0,01	sin límite	7	0	0,0
Volumen tratado mensual	<i>m³</i>	2453163	27142540	sin límite	6028	0	0,0
Xileno	<i>mg/l</i>	0,00	0,01	0,5; 5	4	0	0,0
Zinc	<i>mg/l</i>	0,10	0,34	3; 5; 20	77	0	0,0

A través del registro de PTAS autorizadas en Chile y de la información publicada¹⁶ por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en su página web, se han podido identificar las plantas según si el efluente tratado es destinado a su uso en aguas de riego o para su vertido directo en aguas marinas o superficiales continentales. En la tabla detallada anteriormente (Tabla 28) únicamente se han analizado los datos de las estaciones depuradoras que descargan en cuerpos de aguas marinas y superficiales continentales, por lo que los límites permitidos de descarga son los que se establecen el DS 90. Cabe remarcar también que en la base de datos proporcionada por el MMA se han identificado dos PTAS (Cexas y Esmeralda) en las cuales su operación ha sido derivada a una tercera planta (PTA Melipilla).

En general, se destaca, como parámetro crítico, el Boro residual, ya que, a pesar de ser un parámetro característico, del total de PTAS registradas sólo existen 10 muestras, de

¹⁶ <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3544.html>

las cuales el 60% se encontraban por encima del límite definido en el DS 90. Entre el resto de parámetros característicos existen también otros con un cierto porcentaje de muestras por encima de los límites establecidos. Entre éstos destacan: DBO₅ (17,4%), fósforo (16,3%), cloruros (8,9%), nitrógeno (6,4%), sólidos suspendidos (4,5%), aceites y las grasas (2,8%), plomo (1,3%), entre otros como el pH y los sólidos sedimentables con porcentajes inferiores al 1%.

Otros de los parámetros analizados también presentan muestras por encima de los límites. No obstante, en ningún caso el porcentaje alcanza el 2% del total de muestras analizadas.

Medición de parámetros típicos de RIL

El análisis de los datos registrados por las PTAS nacionales muestra que la mayoría de instalaciones hacen una caracterización prácticamente completa de sus efluentes. Para completar sus análisis las PTAS deberían analizar e informar sobre el contenido en sus aguas de AOX, amoníaco y azufre. Según datos publicados por la Comisión Europea, en 2001, la media de concentración de AOX en aguas de PTAS es de 0,037 mg Cl/l. No se dispone de información bibliográfica sobre emisiones típicas del amoníaco ni del azufre.

Tabla 29. Caracterización físico química de plantas de tratamiento de RILES y aguas servidas en Chile para su uso como aguas de riego.

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (NCh 1333)							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	11,06	29,16	sin límite	176	0	0,0
Aluminio	mg/l	0,16	0,35	5,00	22	0	0,0
Bario	mg/l	1,76	2,14	4,00	2	0	0,0
Boro	mg/l	8,61	261,18	0,75	81	71	87,7
Caudal	m ³ /d	4.265	5.086	sin límite	103	0	0,0
Caudal máximo	m ³ /d	8.708	22.911	sin límite	265	0	0,0
Cloruros	mg/l	346,44	524,50	200	80	74	92,5
Coliformes fecales	mg/l	515,31	26050	1000	557	36	6,5
Cromo total	mg/l	0,01	0,16	0,10	23	1	4,3

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (NCh 1333)							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
DBO5	mg/l	51,71	166,90	sin límite	332	0	0,0
Fósforo	mg/l	4,13	9,75	sin límite	176	0	0,0
Litio	mg/l	0,16	0,37	2,50	39	0	0,0
Manganeso total	mg/l	0,05	0,38	0,20	22	1	4,5
Mercurio	mg/l	0,00	0,00	0,001	67	2	3,0
Molibdeno	mg/l	0,04	0,43	0,01	62	15	24,2
Níquel	mg/l	0,01	0,03	0,20	23	0	0,0
Nitrógeno amoniacal	mg/l	11,40	11,40	sin límite	1	0	0,0
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	42,38	259,63	sin límite	176	0	0,0
pH	-	7,48	8,44	9,00	247	3	1,2
Poder espumógeno	mm	1,94	10,50	sin límite	113	0	0,0
Sólidos suspendidos totales	mg/l	107,23	259,00	sin límite	330	0	0,0
Sulfatos	mg/l	715,69	1512,50	250	75	74	98,7
Temperatura	°C	18,25	26,00	sin límite	232	0	0,0
Tetracloroetano	mg/l	0,00	0,01	sin límite	33	0	0,0
Triclorometano	mg/l	0,01	0,03	sin límite	33	0	0,0
Volumen tratado mensual	m ³	356394	2818221	sin límite	141	0	0,0
Zinc	mg/l	0,07	0,29	2,00	23	0	0,0

El efluente tratado de seis de las PTAS registradas en la base de datos del DS 90 se destina para el regadío. En concreto, corresponde a las siguientes plantas:

- Lagunas aireadas Caldera.
- Lagunas aireadas de Alto Hospicio.
- Planta de tratamiento de Pozo Almonte.

- Planta de tratamiento de Punitaqui.
- Planta de tratamiento de Valle Grande.
- Planta de tratamiento de la Candellada.

Al tratarse de aguas destinadas al riego de campos de cultivo y/o parques y jardines, la regulación que marca los límites de vertido de estas plantas es la Norma Chilena Oficial 1333 (modificada en 1987). Es por ello que el análisis de estas PTAS ha sido realizado por separado, ya que los límites de vertido son distintos a los del DS 90 y son menos los parámetros característicos.

Los datos muestran como los parámetros típicos están, en su mayoría, por debajo del límite regulado en la normativa aplicable. Entre el resto de parámetros los datos demuestran que el boro, los cloruros y los sulfatos son altamente críticos, ya que prácticamente todas las muestras analizadas superan los límites normados.

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto a los parámetros característicos, las PTAS han entregado medidas para todo ellos, excepto los nitratos. El valor de concentración característico para los nitratos medido en el resto de las PTAS que no se destina a regadío es de 1,91 mg/l.

Tabla 30. Caracterización físico química del sector de rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos.

Rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 90)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
Aceites y grasas	mg/l	6,04	20,05	20	184	2	1,09%
Aluminio	mg/l	0,48	4,70	5	184	2	1,09%
Arsénico	mg/l	0,01	0,08	0,5	180	0	0,00%
Boro	mg/l	0,15	1,00	0,75	186	6	3,23%
Cadmio	mg/l	0,00	0,01	0,01	183	1	0,55%
Caudal	m ³ /día	80,36	221,22	variable	872	45	5,16%
Cianuro	mg/l	0,03	0,08	0,2	184	0	0,00%
Cloruros	mg/l	95,21	551,00	400	185	7	3,78%

Rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos							
Cobre Total	mg/l	0,02	0,11	1	183	0	0,00%
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5905,17	231046,57	1000	978	3	0,31%
Cromo hexavalente	mg/l	0,02	0,20	0,05	184	4	2,17%
DBO5	mg O₂/l	8,48	47,97	35	186	9	4,84%
Fluoruro	mg/l	0,29	0,55	1,5	184	0	0,00%
Fósforo	mg/l	0,77	4,14	10	185	0	0,00%
Hidrocarburos fijos	mg/l	5,52	8,57	10	184	0	0,00%
Hierro disuelto	mg/l	4,69	52,65	5	182	2	1,10%
Índice de fenol	mg/l	0,10	0,80	0,5	181	12	6,63%
Manganeso total	mg/l	0,10	0,45	0,3	184	8	4,35%
Mercurio	mg/l	0,00	0,00	0,001	183	1	0,55%
Molibdeno	mg/l	0,02	0,11	1	183	0	0,00%
Níquel	mg/l	0,02	0,08	0,2	183	0	0,00%
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	13,76	59,03	50	185	11	5,95%
Pentaclorofenol	mg/l	0,04	0,82	0,009	147	5	3,40%
pH	unidades de pH	7,33	8,20	8,5	1121	1	0,09%
Plomo	mg/l	0,02	0,04	0,05	183	1	0,55%
Poder espumógeno	mm	2,00	3,36	7	184	1	0,54%
Selenio	mg/l	0,00	0,01	0,01	183	1	0,55%
Sólidos suspendidos totales	mg/l	13,79	63,17	80	184	4	2,17%
Sulfatos	mg/l	83,38	331,20	1000	184	0	0,00%
Sulfuros	mg/l	1,16	27,71	1	184	4	2,17%
Temperatura	°C	17,41	27,19	35	1119	0	0,00%
Tetracloroetano	mg/l	0,00	0,01	0,04	157	0	0,00%
Tolueno	mg/l	0,00	0,03	0,7	158	0	0,00%
Triclorometano	mg/l	0,01	0,03	0,2	170	0	0,00%
Xileno	mg/l	0,01	0,03	0,5	140	0	0,00%
Zinc	mg/l	0,07	0,51	3	181	0	0,00%

Los parámetros más característicos del rubro de rellenos sanitarios y de centros de tratamiento de residuos se encuentran en su mayoría dentro de los límites de emisión del DS 90. En concreto, aproximadamente el 5% de los valores de la DBO_5 superan los valores límite de emisión. El resto de parámetros medidos no superan el 7% de los valores límites establecidos.

Medición de parámetros típicos de RIL

Finalmente, en relación a los parámetros más característicos de este tipo de RIL las empresas no han entregado valores de DQO, aunque si de DBO_5 , de sólidos disueltos totales y nitrógeno total. En cuanto a los valores de emisión de estos contaminantes, la bibliografía entrega datos sobre rangos de concentraciones asimilables a las aguas residuales de rellenos sanitarios (Metcalf & Eddy):

- Sólidos disueltos totales: 250-850 mg/l
- DQO: 250-1.000 mg/l
- Nitrógeno total: 20-85 mg/l

3.1.1 Medición de los parámetros típicos de RIL por rubro del DS 90

En el numeral 3 se han identificado los parámetros típicos para los diferentes rubros clasificados de acuerdo al código CIU de 2007. Los parámetros típicos que son comunes en la mayoría de los 12 rubros de la base de datos del DS 90 son el nitrógeno total Kjeldahl (como medida del nitrógeno), en 11 rubros, y la DBO₅ y el fósforo, en 10 rubros. Por lo tanto, los nutrientes (N y P) y la materia orgánica son los contaminantes que se deben controlar en la mayoría de las emisiones de las aguas residuales industriales.

En la Tabla 31 se incluye la clasificación de los parámetros típicos que son comunes en, como mínimo, cinco de los 12 rubros analizados. Entre estos parámetros destacan la DQO y los AOX, que si bien son parámetros que se consideran característicos en 8 y 5 rubros respectivamente, su monitoreo no está normado ni por el DS 90, ni tampoco por el DS 609. El resto de parámetros típicos están normados tanto por el DS 90 como el DS 609.

Tabla 31. Parámetros típicos según el número de rubros en que son incluidos en la base de datos del DS 90

Parámetro típico	Nº rubros (12)	Norma
Nitrógeno Total Kjeldahl	11	DS 90; DS 609
DBO ₅	10	DS 90; DS 609; NP; NSCA
Fósforo	10	DS 90; DS 609; NP; NSCA
pH	9	DS 90; DS 609; NP; NSCA
DQO	8	No normado
Sólidos suspendidos totales	7	DS 90; DS 609; NP; NSCA
Aceites y grasas	5	DS 90; DS 609
AOX	5	NSCA

En cuanto al seguimiento de los parámetros, las empresas informan de la mayoría de parámetros considerados como típicos en cada sector. Sin embargo, ninguno de los rubros entrega mediciones de todos los parámetros típicos de su sector ya que la mayoría de estos parámetros característicos no informados no están normados por el DS 90 o DS 609. Entre los diferentes parámetros típicos, no entregados, la DQO es el parámetro típico de RIL que menos miden las empresas. En total, 6 rubros no entregan información sobre la concentración de emisión de este parámetro típico de RIL, aunque cabe mencionar que su seguimiento no está normado.

La Tabla 32 indica los parámetros típicos por cada rubro que no han sido informados, la normativa que indica su medición (si es el caso), el valor o rango característico de carga contaminante de cada parámetro disponible en la bibliografía y su referencia. El grupo de industrias que informan en menor grado de los parámetros considerados típicos para el rubro son:

- Industria de curtidos y textil,: AOX, DQO, Nitrato, Nitrógeno amoniacal y Nitrógeno orgánico.
- Industria de productos químicos: AOX, Benceno, DQO, Fluoruro, Fosfato, Nitrato, Nitrógeno amoniacal y TOC.

Tabla 32. Parámetros típicos no informado por rubro en la base de datos del DS 90

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado	Valor o Rango	Referencia
Ganadería (cría de animales)	AOX	NSCA	-	-
	Azufre	No normado	-	-
	TOC	No normado	-	-
Acuicultura (criaderos de peces y granjas piscícolas)	Antibióticos	No normado	-	-
Minería	Potasio	NSCA	-	-
	Sólidos disueltos totales	No normado	-	-
Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado	DQO	No normado	2.000-60.000 mgO ₂ /l	Comisión Europea, 2006b
	MES	No normado	-	-
Industria de Elaboración de Productos Lácteos	DQO	No normado	500-4.500 mgO ₂ /l	Comisión Europea, 2006b

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado	Valor o Rango	Referencia
	MES	No normado	-	-
Industria de Curtidos y Textil	AOX	NSCA	0,65 (0,13 – 2,5) mg/l	Comisión Europea 2003b
	DQO	No normado	365 – 1945 mg/l	Comisión Europea 2003b
	Nitrato	NSCA	-	-
	Nitrógeno amoniacal	DS 609	30,53 (0,6 – 170) mg/l	Comisión Europea 2003b
	Nitrógeno orgánico	No normado	9,5-22,8 mg/l	Comisión Europea 2003b
Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal	Cromo (a)	No normado	<0,18 mg/l	Comisión Europea 2001a
	Cromo (b)	No normado	0,31	Comisión Europea 2001b
	Cromo Hexavalente	DS 90; DS 609; NP; NSCA	0-0,02 mg/l	Comisión Europea 2001a
	Estaño	DS 90	0,026 mg/l	Comisión Europea 2001b
Industria de Productos Químicos	AOX	NSCA	1,7 mg/l	-
	Benceno	No normado	-	-
	DQO	No normado	100-9.000 mgO ₂ /l	-
	Fluoruro	DS 90; DS 609; NSCA	-	-
	Fosfato	NSCA	-	-
	Nitrato	NSCA	-	-
	Nitrógeno amoniacal	DS 609	3,9 – 152 mg/l	Comisión Europea 2001b
	TOC	No normado	-	-
Industria de Papel y Madera	MES	No normado	-	-
	Sulfitos	No normado	-	-
Industria de Bebidas	DQO	No normado	1.800 – 3.000 mgO ₂ /l	Comisión Europea 2006b
	MES	No normado	-	-
Planta de tratamiento de	Amoníaco	No normado	-	-

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado	Valor o Rango	Referencia
RILES	AOX	NSCA	0,037 mg Cl/l	Comisión Europea 2001
	Azufre	No normado	-	-
Planta de tratamiento de RILES - NCh 1333	Nitrato	NSCA	1,91 mg/l	Base de datos DS90 (Datos de plantas que descargan a aguas continentales).
Rellenos sanitarios y centros de tratamiento de residuos	DQO	No normado	250 – 1.000 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	20 – 85 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991
	Sólidos disueltos totales	No normado	250-850 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991

(a): Dato de la industria metal férrea.

(b): Dato de la industria metal no férrea.

En relación a los datos disponibles en la literatura, se han recopilado los valores medios, o bien, rangos típicos de todos los parámetros normados de acuerdo a los decretos DS 90 y DS 609, a excepción de los fluoruros y benceno para el rubro de industrias de productos químicos.

3.2 Caracterización físico-química por rubros de los datos de la base de datos del DS 609

A continuación se presenta la revisión de los datos proporcionados por las industrias nacionales a la que aplica el DS 609. Esta revisión se ha realizado para los rubros que tienen un mayor número de instalaciones descargando sus efluentes a la red de alcantarillado. La información obtenida se presenta en tablas independientes en función del rubro considerado. En ellas además de mostrar parámetros tales como el valor promedio, el valor promedio superior y el porcentaje de muestras que se encuentran por encima del valor límite también se destaca (*en negrita*) cuáles son los parámetros típicos de RIL para el rubro en cuestión.

Tabla 33. Caracterización físico química del sector industrias de manipulación y transformación de carne y pescado.

Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
DBO5	mg/l	631,39	1.402,5	variable	17092	6.949	40,66

Los datos proporcionados por las industrias de procesados de carnes y pescados que vierten sus efluentes líquidos a la red de alcantarillado únicamente informan de la carga orgánica de sus aguas residuales. Este dato lo proporcionan mediante el análisis de la DBO₅.

De acuerdo con lo establecido en el DS 609, el límite permitido de vertido al alcantarillado, tanto si la red cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales como si no, es variable y depende del volumen mensual de descarga de cada instalación. En cualquier caso, mediante el análisis estadístico de los datos analíticos proporcionados por las distintas empresas registradas refleja que el 40,7% de los valores medidos se encuentra por encima de su valor límite.

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto a los parámetros característicos del rubro analizado se detecta un fuerte déficit de caracterización completa de estos efluentes industriales. Específicamente, las industrias de manipulación y procesamiento de carnes y pescados deberían analizar el contenido de DQO, SST, MES, pH, aceites y grasas, nitrógeno, fósforo y coliformes.

Los valores característicos **máximos** de estos parámetros encontrados en la bibliografía son los siguientes¹⁷:

pH: 6-9; SST 50 mg/l, DQO: 250 mg/l, Aceites y grasas, 10 mg/l, Nitrógeno: 10 mg/l, Fósforo: 5 mg/l y Coliformes 400 NMP/100 ml. (World Bank, 1999).

Tabla 34. Caracterización físico química del sector de la industria de Curtidos y Textiles.

Industria de Curtidos y Textiles							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	33,28	86,78	150	616	8	1,30
ARSÉNICO	mg/l	0,01	0,01	0,5	2	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,05	0,08	0,5	196	2	1,02
COBRE TOTAL	mg/l	0,40	1,49	3	251	9	3,59
CROMO TOTAL	mg/l	3,84	8,59	10	588	36	6,12
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,13	0,24	0,5	527	7	1,33
DBO5	mg/l	311,20	628,12	variable	861	260	30,20
FÓSFORO	mg/l	4,33	14,14	10-45	269	5	1,86
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,38	0,49	sin límite	18	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	7,34	10,00	sin límite	16	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	4,02	6,48	20	174	2	1,15
MANGANESO	mg/l	0,35	0,60	4	4	0	0,00

¹⁷ Para descarga a cuerpos de agua, no alcantarillado.

Industria de Curtidos y Textiles							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
MERCURIO	mg/l	0,05	0,07	0,02	196	2	1,02
NÍQUEL	mg/l	0,14	0,20	4	196	0	0,00
NITROGENO AMONICAL	mg/l	33,04	69,68	80	527	63	11,95
PH	-	8,29	9,10	5,5-9,0	1331	48	3,61
PH MIN	-	6,53	7,12	5,5	455	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,11	0,15	1	248	2	0,81
PODER ESPUMÓGENO	mm	4,44	7,94	7	560	83	14,82
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	1,53	2,44	sin límite	104	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	4,37	7,29	20	357	3	0,84
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	181,42	416,85	300	889	90	10,12
SULFATOS	mg/l	526,60	730,26	1000	532	83	15,60
SULFUROS	mg/l	0,50	5,31	5	476	20	4,20
TEMPERATURA	°C	25,34	30,42	35	1277	19	1,49
ZINC	mg/l	0,99	1,16	5	251	2	0,80

El análisis de los datos registrados de las industrias del rubro de industrias de curtidos y textiles presenta un total de 26 parámetros distintos para la caracterización de sus efluentes líquidos. De entre todos los más característicos son únicamente 7.

Algunos de los parámetros medidos más característicos presentan importantes porcentajes de muestras que superan los límites permitidos por la normativa de referencia. Teniendo en cuenta el porcentaje de muestras que superan el límite conjuntamente con el total de análisis realizados se detecta que la mayor carga contaminante de los efluentes de este tipo de industrias viene marcada por la carga

orgánica que puede ser degradada biológicamente (DBO₅). Los datos demuestran que de las 861 muestras analizadas, el 30,2% se encuentran por encima del límite.

Del resto de parámetros no se detectan porcentajes elevados de muestras por encima del límite. Sólo destacan con porcentajes a considerar para su mejora el poder espumógeno (14,8%) y los sulfatos (15,6%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Otros parámetros que las empresas registradas en este sector deberían considerar en sus análisis son: nitratos, nitrógeno org. AOX, DQO (aunque se mide la DBO₅) y nitrógeno total. Así, se alcanzará una completa caracterización de sus efluentes de acuerdo con la actividad industrial que realizan.

A continuación se detallan las concentraciones publicadas para algunos de estos parámetros (Comisión Europea, 2003b):

- AOX: 0,13 – 2,5 mg Cl/l; promedio 0,65 mg/l
- Nitrógeno org.: 4,7 – 158 mg/l; promedio 31,86 mg/l

Tabla 35. Caracterización físico química del sector de la industria de elaboración de productos de harinas y pastelería.

Industria de elaboración de harinas y pastelería							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	110,83	271,25	150	922	110	11,93
DBO5	mg/l	764,50	1606,75	variable	1350	1120	82,96
FÓSFORO	mg/l	8,56	20,98	10-45	1121	140	12,49
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	4,91	10,78	sin límite	27	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	4,97	9,17	sin límite	27	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	7,62	15,89	20	57	15	26,32
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	15,16	64,54	80	1037	31	2,99
NITRÓGENO	mg/l	8,11	15,60	sin límite	37	0	0,00

Industria de elaboración de harinas y pastelería							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
KJELDAHL							
PH	-	7,52	8,43	5,5-9,0	1104	81	7,34
PH MIN	-	6,61	7,41	5,5	761	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	mm	4,72	8,80	7	766	181	23,63
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	1,43	1,43	sin límite	14	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	6,28	15,34	20	759	38	5,01
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	337,88	835,32	300	1349	303	22,46
SULFATOS	mg/l	177,41	219,13	1000	99	0	0,00
SULFUROS	mg/l	1,36	3,41	5	6	1	16,67
TEMPERATURA	°C	21,08	24,69	35	1091	11	1,01

El tratamiento de los RILES del rubro de elaboración de harinas y productos de pastelería presenta un potencial de mejora significativo.

De los 17 parámetros informados a la administración por las distintas empresas registradas, únicamente 6 de ellos son los más característicos del sector. Excepto para el contenido de nitrógeno para el cual el DS 609 no establece límite de emisión, el resto de parámetros característicos analizados contienen muestras con valores por encima del límite y en su mayoría este porcentaje es demasiado elevado. El parámetro con un mayor porcentaje de análisis por encima de lo permitido es la DBO₅ (83%). A éste le siguen la concentración de sólidos en suspensión (22,5%), el contenido de fósforo (12,5%), de grasas y aceites (12%) y la medida de pH (7,3%).

Del resto de parámetros destacan, con valores por encima de los límites marcados por el DS 609 el poder espumógeno (23,6%), los hidrocarburos totales (26,3%) y los sulfuros (16,7%). El reducido número de muestras analizadas en los dos últimos parámetros (57 y 6, respectivamente) disminuyen el grado de significancia de los resultados.

Medición de parámetros típicos de RIL

En cuanto a la caracterización completa de los RILES de este grupo de industrias es importante indicar a los responsables de las industrias que en los análisis se debería incluir, además de lo informado, el análisis de la DQO (sin embargo informan de la DBO₅), los MES, aunque este valor puede compararse con el de SST el cual las empresas del sector si monitorizan, y el contenido en coliformes. En cuanto a la caracterización de los coliformes fecales, la industria alimentaria, más parecida en cuanto a rubro, de transformación de carne y pescado y de lácteos muestra concentraciones promedio de emisión entre 15.000 a 22.000 NMP/100 ml.¹⁸

Tabla 36. Caracterización físico química de las actividades de edición e impresión.

Actividades de Edición e Impresión							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	29,74	46,50	150	57	2	3,51
ALUMINIO	mg/l	1,00	1,30	10	7	0	0,00
AMONIACO	mg/l	13,05	16,00	sin límite	4	0	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,01	0,01	0,5	144	0	0,00
BORO	mg/l	0,25	0,25	4	2	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,01	0,01	0,5	11	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,05	0,06	1	7	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,92	2,41	3	28	3	10,71
CROMO TOTAL	mg/l	0,26	0,50	10	158	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,05	0,12	0,5	157	1	0,64
DBO5	mg/l	393,77	597,46	variable	271	262	96,68
FÓSFORO	mg/l	5,15	10,18	10-45	78	0	0,00
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	1,77	3,09	sin límite	75	0	0,00

¹⁸ Concentraciones de estos rubros medidos en aguas residuales tratadas en las instalaciones de las industrias.

Actividades de Edición e Impresión							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	9,96	20,73	sin límite	75	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	778,57	789,67	20	136	6	4,41
MANGANESO	mg/l	0,06	0,10	4	7	0	0,00
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	155	1	0,65
NÍQUEL	mg/l	0,10	0,11	4	11	0	0,00
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	22,65	62,46	80	74	2	2,70
PH	-	8,23	9,05	5,5-9,0	269	17	6,32
PH MIN	-	7,19	7,68	5,5	168	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,08	0,09	1	49	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	mm	14,66	18,30	7	17	3	17,65
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	5,70	11,74	20	50	4	8,00
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	187,70	408,25	300	159	56	35,22
SULFATOS	mg/l	177,60	261,67	1000	11	0	0,00
SULFUROS	mg/l	0,25	1,90	5	40	0	0,00
TEMPERATURA	°C	23,81	40,29	35	262	3	1,15
ZINC	mg/l	0,24	0,43	5	46	0	0,00

Tras el análisis de la caracterización de los RILES de empresas vinculadas al sector de las artes gráficas se demuestra que el tratamiento de los efluentes de este tipo de industrias posee un fuerte potencial de mejora en beneficio de la calidad de las aguas.

Entre los parámetros más característicos se destaca que la DBO₅ y los sólidos suspendidos totales son los parámetros en los que se detecta un mayor número de muestras que superan el límite (96,7 y 35,2%, respectivamente). Otros presentan porcentaje inferiores y, por lo tanto, su probabilidad de contaminación es menor.

Del mismo modo, entre el resto de parámetros se destaca el poder espumígeno (17,6%) y el cobre total (10,7%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Entre los 29 parámetros informados por el total de empresas registradas bajo esta actividad, 9 son considerados como los parámetros más característicos y que, por lo tanto, deben ser siempre monitoreados. En este sentido, para realizar un análisis completo de los RILES se debería incluir en la categoría de más característicos la concentración de DQO, fenoles, SAAM y plata. Los valores característicos de estos parámetros publicados para la plata y la DQO son 0,5 mg Ag/ml y 150 mg O₂/ml, respectivamente (World Bank, 1999). No se dispone de datos publicados para el SAAM y los fenoles.

Tabla 37. Caracterización físico química del sector de la fabricación de productos minerales no metálicos.

Fabricación de Productos Minerales No Metálicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	25,77	69,42	150	203	18	8,87
ALUMINIO	mg/l	1,01	1,53	10	49	0	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,03	0,04	0,5	4	0	0,00
BORO	mg/l	0,66	0,91	4	22	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,01	0,01	0,5	13	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,06	0,10	1	6	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,10	0,22	3	81	0	0,00
CROMO TOTAL	mg/l	0,39	0,73	10	65	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,08	0,19	0,5	65	0	0,00
DBO5	mg/l	269,46	798,70	variable	269	153	56,88
FÓSFORO	mg/l	3,21	8,96	10-45	213	4	1,88
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,75	0,84	sin límite	13	0	0,00

Fabricación de Productos Minerales No Metálicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
HIDROCARBUROS FIJOS	<i>mg/l</i>	5,19	5,80	sin límite	13	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	<i>mg/l</i>	6,99	29,06	20	126	12	9,52
MANGANESO	<i>mg/l</i>	0,42	0,71	4	19	0	0,00
MERCURIO	<i>mg/l</i>	0,00	0,00	0,02	13	0	0,00
NÍQUEL	<i>mg/l</i>	0,15	0,17	4	13	0	0,00
NITROGENO AMONIACAL	<i>mg/l</i>	18,97	52,91	80	168	1	0,60
PH	-	7,65	8,70	5,5-9,0	1733	7	0,40
PH MIN	-	6,85	7,71	5,5	267	0	0,00
PLOMO	<i>mg/l</i>	0,10	0,11	1	13	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	<i>mm</i>	2,54	5,78	7	176	9	5,11
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	<i>mg/l</i>	0,75	1,00	sin límite	6	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	<i>mg/l</i>	1,28	3,32	20	270	0	0,00
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	<i>mg/l</i>	145,32	398,58	300	418	26	6,22
SULFATOS	<i>mg/l</i>	371,97	661,70	1000	181	1	0,55
SULFUROS	<i>mg/l</i>	0,35	0,99	5	37	0	0,00
TEMPERATURA	<i>°C</i>	21,48	26,91	35	1733	0	0,00
ZINC	<i>mg/l</i>	0,51	0,88	5	22	0	0,00

Entre los parámetros más característicos analizados, únicamente presentan muestras que rebasan los límites los resultados de aceites y grasas (8,9%). Otros parámetros como el pH y los sulfatos, también presentan alguna muestra que supera el límite permitido pero considerando que el número de muestras analizadas es muy elevado su probabilidad de superación es reducida.

Medición de parámetros típicos de RIL

Los datos registrados por las industrias que desarrollan actividades asociadas al desarrollo de minerales no metálicos presentan valores que en su mayoría se encuentran por debajo de los límites establecidos para los distintos parámetros. A pesar de esto, se detecta una notable falta de caracterización de otros parámetros característicos para el sector productivo tales como: DQO, nitrógeno, F⁻, Sb, Ba, Sn, fenoles y ácido bórico. Junto con los ya analizados, las industrias que desarrollan este tipo de actividades deberían incluir los parámetros anteriormente citados para una caracterización realista de los contaminantes que sus RILES pueden contener.

Los valores de algunos de estos parámetros, para las industrias de la cerámica de acuerdo al informe de la Comisión Europea (2007):

- Ba: 0,32 mg/l *
- F⁻: <2 mg/l
- Sb: <0,01 mg/l *
- DQO: 100 – 400 mg O₂/ml
- Sn: <0,01 mg/l *
- B: 1-60 mg/l

* Aguas residuales del proceso de lavado.

Tabla 38. Caracterización físico química de fabricación de metales y de productos elaborados de metal.

Fabricación de Metales y de Productos Elaborados de Metal							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	19,72	46,31	150	493	3	0,61
ALUMINIO	mg/l	0,81	1,12	10	165	0	0,00
AMONIACO	mg/l	0,01	0,01	sin límite	1	0	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,01	0,01	0,5	22	0	0,00
BORO	mg/l	0,53	0,53	4	3	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,11	0,16	0,5	274	6	2,19

Fabricación de Metales y de Productos Elaborados de Metal							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
CIANURO	mg/l	0,88	1,37	1	274	8	2,92
COBRE TOTAL	mg/l	0,41	1,08	3	326	12	3,68
CROMO TOTAL	mg/l	1,44	2,42	10	338	8	2,37
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,16	0,27	0,5	336	8	2,38
DBO5	mg/l	121,09	231,63	variable	450	329	73,11
FÓSFORO	mg/l	5,37	8,50	10-45	84	1	1,19
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,78	0,94	sin límite	116	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	5,57	10,56	sin límite	116	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	4,33	5,32	20	177	0	0,00
HIERRO TOTAL	mg/l	4,15	4,29	sin límite	5	0	0,00
MANGANESO	mg/l	0,22	0,94	4	156	1	0,64
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	146	0	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,84	1,42	4	329	9	2,74
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	10,55	19,10	80	78	1	1,28
PH	-	8,09	8,89	5,5-9,0	1061	24	2,26
PH MIN	-	6,82	7,61	5,5	761	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,27	0,40	1	172	10	5,81
PODER ESPUMÓGENO	mm	2,95	4,89	7	177	4	2,26
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	0,50	0,50	sin límite	2	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	3,85	10,89	20	215	13	6,05
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	108,59	284,15	300	522	33	6,32
SULFATOS	mg/l	378,91	556,99	1000	360	6	1,67
SULFUROS	mg/l	0,49	1,70	5	40	1	2,50

Fabricación de Metales y de Productos Elaborados de Metal							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
TEMPERATURA	°C	21,32	26,05	35	1049	0	0,00
ZINC	mg/l	2,11	5,46	5	306	23	7,52

Algunos de los parámetros más importantes caracterizados presentan muestras por encima de los límites establecidos, pero en general estos porcentajes son muy reducidos. Algunos de los más importantes serían el zinc (7,5%), los sólidos sedimentables (6%) y el plomo (5,8%).

Entre los otros parámetros menos característicos se destaca la elevada carga contaminante que presenta la carga biodegradable medida como DBO₅. En este caso de las 450 muestras analizadas 329 están por encima del límite, el cual está altamente relacionado con el volumen mensual de descarga de cada instalación. El tratamiento de los RILES de las industrias relacionadas con actividades relacionadas con la producción de metales puede aportar a las aguas residuales un moderado porcentaje de mejora.

Medición de parámetros típicos de RIL

En los análisis de la mayoría de industrias nacionales registradas se incluyen prácticamente la totalidad de los parámetros más característicos del sector; a excepción del estaño el cual debería ser también analizado e informado a la administración. En cuanto a los valores de emisión de estaño de las empresas de este rubro, los datos publicados por Comisión Europea (2001b) de industrias de fabricación y transformación de metales férricos y no férricos reportan los siguientes rangos de emisión:

- Sn:0,026 mg/l (industria del cobre).

Tabla 39. Caracterización físico química de la industria de productos químicos.

Industria de Sustancias y Productos Químicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	46,67	107,56	150	822	44	5,35
ALUMINIO	mg/l	2,22	4,80	10	370	6	1,62
ARSÉNICO	mg/l	0,04	0,08	0,5	161	5	3,11
BORO	mg/l	0,77	1,79	4	226	7	3,10
CADMIO	mg/l	0,01	0,01	0,5	180	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,09	0,23	1	166	1	0,60
COBRE TOTAL	mg/l	0,42	0,71	3	275	6	2,18
CROMO TOTAL	mg/l	0,22	0,28	10	338	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,06	0,12	0,5	339	0	0,00
DBO5	mg/l	498,71	1688,98	variable	1527	1306	85,53
FÓSFORO	mg/l	4,95	11,71	10-45	834	19	2,28
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	2,98	3,84	sin límite	166	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	7,00	10,42	sin límite	166	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	12,30	23,77	20	568	40	7,04
HIERRO TOTAL	mg/l	5,00	5,00	sin límite	2	0	0,00
MANGANESO	mg/l	0,27	0,52	4	178	1	0,56
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	231	0	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,13	0,20	4	257	2	0,78
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	9,59	21,83	80	793	4	0,50
PH	-	8,19	9,00	5,5-9,0	1105	78	7,06
PH MIN	-	6,66	7,34	5,5	811	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,08	0,14	1	310	1	0,32
PODER ESPUMÓGENO	mm	4,97	9,22	7	628	116	18,47
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	4,03	5,71	sin límite	70	0	0,00

Industria de Sustancias y Productos Químicos							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	4,25	9,08	20	640	19	2,97
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	209,20	700,85	300	1392	119	8,55
SULFATOS	mg/l	373,76	523,41	1000	287	10	3,48
SULFUROS	mg/l	0,14	0,31	5	244	0	0,00
TEMPERATURA	°C	21,85	26,32	35	1102	5	0,45
ZINC	mg/l	0,44	0,74	5	275	5	1,82

Algunos de los parámetros más característicos en los que se han detectado muestras por encima de los valores límites son el pH, los hidrocarburos totales, el fósforo y el cobre con porcentajes sobre el total de muestras analizadas de 7,06, 7,04, 2,28 y 2,18%, respectivamente. Igualmente se detectan otros parámetros con muestras que superan los límites permitidos pero sin superar el 1%, por lo que su probabilidad es reducida.

Del resto de parámetros destacan la DBO₅ (85,5%) y el poder espumógeno (18,5%).

Medición de parámetros típicos de RIL

El tratamiento de los RILES de las industrias relacionadas con el desarrollo de productos químicos presenta un importante potencial de mejora. Si bien la mayoría de parámetros informados por el conjunto de empresas registradas a dicha actividad no presentan un elevado porcentaje de muestras con valores superior a los límites establecidos en el DS 609, existe una notable carencia de análisis de ciertos contaminantes que deberían ser incluidos en la caracterización de estos efluentes industriales. Para lograr una completa y exhaustiva caracterización, dichas empresas deberían analizar conjuntamente con lo ya informado otros parámetros tales como nitratos, DQO, TOC, nitrógeno, fosfatos, fenoles, benceno, fluoruros y AOX. A continuación se indican los valores de emisión de los

parámetros normados y del TOC de empresas de este rubro, publicado en el informe de la Comisión Europea, 2006c.

Industria química orgánicas finas e inorgánicas

- AOX: 1,7 mg/l
- TOC: 1.600 mg/l
- Nitrógeno total: 6,4 a 5.458 mg/ml; promedio 700,74 mg/l
- DQO: 100 a 25.000 mg O₂/l

En cuanto a los nitratos, se consideran los datos de las industrias que han informado sobre las emisiones de nitritos y nitratos, a aguas marinas y continentales superficiales: 1,3 mg/l. En cuanto a los fosfatos no se ha identificado datos publicados en la bibliografía de este valor.

Tabla 40. Caracterización físico química de la industria de bebidas.

Industria de Bebidas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	14,60	24,68	150	254	0	0,0
ARSÉNICO	mg/l	0,00	0,01	0,5	7	0	0,0
BORO	mg/l	1,02	1,83	4	7	0	0,0
DBO5	mg/l	987,46	3546,99	variable	1921	1432	74,5
FENOLES	mg/l	1363,00	1363,00	sin límite	1	0	0,0
FLUORURO	mg/l	1681,00	1681,00	sin límite	1	0	0,0
FÓSFORO	mg/l	6,42	50,17	10-45	1136	159	14,0
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	2,73	4,65	sin límite	3	0	0,0
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	2,50	2,50	sin límite	3	0	0,0
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	1,90	2,40	20	6	0	0,0
MANGANESO	mg/l	0,01	0,01	4	7	0	0,0
NITROGENO AMONICAL	mg/l	5,22	65,05	80	1114	3	0,3

Industria de Bebidas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
PH	-	7,61	9,63	5,5-9,0	1859	331	17,8
PH MIN	-	6,30	7,14	5,5	102	0	0,0
PODER ESPUMÓGENO	mm	5,30	14,42	7	262	40	15,3
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	860,25	860,25	sin límite	3	0	0,0
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	1,77	8,94	20	248	3	1,2
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	183,85	1096,66	300	1822	347	19,0
SULFATOS	mg/l	1021,83	1106,50	1000	5	4	80,0
SULFUROS	mg/l	0,10	0,10	5	3	0	0,0
TEMPERATURA	°C	19,24	25,34	35	1764	6	0,3

El tratamiento de los RILES del rubro de elaboración de bebidas presenta un notable potencial de mejora. En cuanto al valor de emisión de los coliformes fecales, no hay disponibles valores característicos para este sector, por lo que se indica el valor promedio medido por las empresas del rubro de la industria de bebidas que descargan las aguas residuales en aguas superficiales continentales o marinas (DS 90) determinado en el numeral 3.1 de este informe. La concentración promedio medida es de 549 NMP/100 ml.

Algunos de los parámetros más característicos informados por las empresas presentan porcentajes de muestras que superan los límites respecto al total de muestras analizadas que deberían ser reducidos para la mejora de las aguas. En especial destacan los resultados de DBO₅ (74,5%), sólidos suspendidos totales (19%), pH (17,8%) y fósforo (14%).

Del resto de los parámetros destacan los sulfatos (80%) y el poder espumógeno (15,3%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Entre los 23 parámetros que han sido informados por el total de empresas registradas para el desarrollo de esta actividad únicamente 6 de ellos destacan por ser los más característicos. Existen otros parámetros clasificados como característicos del rubro analizado, tales como la DQO, el nitrógeno, el contenido en coliformes y el MES (equiparable a SST), que deben ser incluidos en los análisis de estas industrias para alcanzar la caracterización completa de sus efluentes líquidos.

Los valores publicados en cuanto a la concentración de emisión de estos parámetros varían en función del tipo de bebida que se produzca. A continuación se indican los valores reportados en el informe de la Comisión Europea (2006b):

Tabla 41. Valores de DQO y Nitrogeno Kjeldahl en aguas residuales de diferentes procesos de la industria vitivinícola.

Industria vitivinícola	Fermentación	Envejecimiento	Limpieza barriles
DQO (mg O ₂ /l)	4,86-6,17	3,7 – 3,9	4,3
Nitrógeno Kjeldahl (mg N/l)	35,9 – 51,5	239-1.288	51,8

Los rangos de la industria de la cerveza para la DQO y nitrógeno total publicados en este mismo estudio son:

- DQO: 1.800 – 3.000 mg O₂/l
- Nitrógeno total: 30 – 100 mg/l

Tabla 42. Caracterización físico química de fabricación de muebles.

Fabricación de Muebles							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	30,98	80,55	150	458	25	5,46
ALUMINIO	mg/l	1,44	1,95	10	41	0	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,02	0,03	0,5	12	0	0,00
BORO	mg/l	1,24	1,62	4	13	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,01	0,01	0,5	93	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,07	0,10	1	51	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,16	0,21	3	93	0	0,00
CROMO TOTAL	mg/l	0,25	0,37	10	92	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,10	0,13	0,5	91	0	0,00
DBO5	mg/l	250,41	567,95	variable	526	310	58,94
FÓSFORO	mg/l	6,14	11,95	10-45	205	21	10,24
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,55	0,62	sin límite	26	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	8,99	14,56	sin límite	26	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	9,55	11,37	20	149	4	2,68
MANGANESO	mg/l	0,10	0,12	4	37	0	0,00
MERCURIO	mg/l	0,04	0,13	0,02	58	2	3,45
NÍQUEL	mg/l	0,12	0,14	4	92	0	0,00
NITROGENO AMONICAL	mg/l	15,36	32,19	80	162	4	2,47
PH	-	8,26	8,87	5,5-9,0	473	49	10,36
PH MIN	-	6,84	7,38	5,5	421	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,45	1,20	1	94	2	2,13
PODER ESPUMÓGENO	mm	4,38	7,21	7	251	33	13,15
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	4,59	17,76	sin límite	94	0	0,00

Fabricación de Muebles							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	3,54	9,41	20	187	24	12,83
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	172,98	410,04	300	561	114	20,32
SULFATOS	mg/l	323,88	416,27	1000	133	4	3,01
SULFUROS	mg/l	0,29	0,34	5	58	0	0,00
TEMPERATURA	°C	22,51	26,74	35	469	21	4,48
ZINC	mg/l	0,55	1,39	5	98	5	5,10

Entre los tres parámetros más característicos analizados, dos de ellos contienen un notable porcentaje frente al total de muestras analizadas que sobrepasan los límites establecidos en la regulación. Concretamente se trata de la DBO₅ (58,9%) y el fósforo (10,2%).

Entre los otros parámetros informados destacan los sólidos suspendidos totales (20,3%), el poder espumógeno (13,1%), los sólidos sedimentables (12,8%) y el pH (10,4%).

Medición de parámetros típicos de RIL

En general, la mayoría de empresas registradas en el desarrollo de actividades industriales relacionadas con la fabricación de muebles elaboran un análisis completo de sus RILES. No obstante, en sus análisis deberían incluir los parámetros DQO y nitrógeno para un mayor control de calidad de sus efluentes.

Las aguas generadas por este rubro son comparables a las generadas en el ámbito doméstico. Según Metcalf & Eddy (1991), los rangos característicos de las concentraciones para estos parámetros son:

- DQO: 250-1.000 mg O₂/l
- Nitrógeno total: 20-85 mg/l

Tabla 43. Caracterización físico química de las empresas dedicadas al comercio al por mayor y al por menor

Comercio al Por Mayor y al Por Menor							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	67,60	139,21	150,00	2.415,00	142,00	5,88
ALUMINIO	mg/l	0,42	0,84	10,00	11,00	0,00	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,01	0,01	0,50	19,00	0,00	0,00
BORO	mg/l	0,01	0,01	4,00	4,00	0,00	0,00
CADMIO	mg/l	0,00	0,01	0,50	24,00	0,00	0,00
CIANURO	mg/l	0,03	0,05	1,00	24,00	0,00	0,00
CLORUROS	mg/l	73,63	90,25	sin límite	5,00	0,00	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,10	0,19	3,00	24,00	0,00	0,00
CROMO TOTAL	mg/l	0,15	0,15	10,00	31,00	0,00	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,02	0,05	0,50	31,00	0,00	0,00
DBO5	mg/l	334,18	642,25	variable	2.420,00	2.021,00	83,51
FENOLES	mg/l	469,40	2.345,00	sin límite	5,00	0,00	0,00
FÓSFORO	mg/l	7,53	14,82	10-45	1.712,00	278,00	16,24
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,26	0,40	sin límite	314,00	0,00	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	8,23	9,84	sin límite	312,00	0,00	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	26,17	58,38	20,00	1.043,00	61,00	5,85
HIERRO TOTAL	mg/l	5,00	5,00	sin límite	5,00	0,00	0,00
MANGANESO	mg/l	0,84	1,24	4,00	25,00	0,00	0,00
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	20,00	0,00	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,06	0,09	4,00	24,00	0,00	0,00
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	19,62	40,62	80,00	1.402,00	68,00	4,85
NITRÓGENO KJELDAHL	mg/l	48,63	48,63	sin límite	3,00	0,00	0,00
PH	-	7,57	7,95	5,5-9,0	2.584,00	49,00	1,90
PH MIN	-	7,08	7,38	5,50	1.168,00	0,00	0,00

Comercio al Por Mayor y al Por Menor							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
PLOMO	<i>mg/l</i>	0,03	0,06	1,00	58,00	0,00	0,00
PODER ESPUMÓGENO	<i>mm</i>	6,13	10,21	7,00	2.232,00	553,00	24,78
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	<i>mg/l</i>	131,28	169,75	sin límite	113,00	0,00	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	<i>mg/l</i>	3,35	8,13	20,00	1.838,00	70,00	3,81
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	<i>mg/l</i>	280,84	552,07	300,00	2.747,00	719,00	26,17
SULFATOS	<i>mg/l</i>	289,40	338,17	1.000,00	25,00	0,00	0,00
SULFUROS	<i>mg/l</i>	0,66	1,36	5,00	49,00	2,00	4,08
TEMPERATURA	<i>°C</i>	19,70	22,34	35,00	2.508,00	3,00	0,12
ZINC	<i>mg/l</i>	0,38	0,69	5,00	27,00	0,00	0,00

El análisis estadístico de los datos analíticos informados por las empresas registradas en el sector de la automoción demuestra que el tratamiento de los RILES de este sector puede generar una mejora potencial en la calidad de las aguas.

Los parámetros más característicos informados por las distintas empresas presentan un elevado número de muestras por encima del límite que marca la regulación. Un 83,5% de las muestras de DBO₅ analizadas sobrepasan el límite. En el caso de los análisis de fósforo este porcentaje es menor pero no despreciable (16,2%).

Entre el resto de parámetros informados destacan los sólidos suspendidos (26,1%) y el poder espumógeno (24,8%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Sería conveniente que dichas empresas informaran también sobre los valores totales de materia orgánica mediante la DQO. Según Metcalf & Eddy, (1991), la DQO de aguas

domésticas, comparables a las aguas residuales de este sector, se encuentra entre 250 – 1.000 mg O₂/l.

Tabla 44. Caracterización físico química de restaurantes, bares y cantinas.

Restaurantes, bares y cantinas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	96,88	203,08	150	597	91	15,24
ALUMINIO	mg/l	1,00	1,00	10	6	0	0,00
ARSÉNICO	mg/l	0,00	0,00	0,5	1	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,01	0,01	0,5	33	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,02	0,02	1	1	0	0,00
CLORUROS	mg/l	16,00	16,00	sin límite	2	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,04	0,08	3	39	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,02	0,02	0,5	1	0	0,00
DBO5	mg/l	606,01	908,66	variable	655	563	85,95
DETERGENTES	mg/l	0,10	0,10	sin límite	1	0	0,00
FENOLES	mg/l	0,00	0,00	sin límite	2	0	0,00
FÓSFORO	mg/l	9,05	12,34	10-45	577	91	15,77
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,31	0,33	sin límite	12	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	4,70	4,80	sin límite	12	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	9,65	21,20	20	47	2	4,26
MANGANESO	mg/l	0,05	0,05	4	9	0	0,00
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	1	0	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,02	0,03	4	39	0	0,00
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	15,21	20,92	80	572	5	0,87
NITRÓGENO KJELDAHL	mg/l	16,30	16,30	sin límite	1	0	0,00
PH	-	7,17	7,60	5,5-9,0	603	17	2,82
PH MIN	-	6,45	6,88	5,5	189	0	0,00

Restaurantes, bares y cantinas							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
PLOMO	<i>mg/l</i>	0,01	0,01	1	1	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	<i>mm</i>	8,04	13,12	7	561	172	30,66
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	<i>mg/l</i>	0,94	1,08	sin límite	14	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	<i>mg/l</i>	5,99	10,87	20	512	24	4,69
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	<i>mg/l</i>	323,74	584,32	300	657	188	28,61
SULFATOS	<i>mg/l</i>	128,93	163,21	1000	46	0	0,00
SULFUROS	<i>mg/l</i>	0,34	1,48	5	15	1	6,67
TEMPERATURA	<i>°C</i>	19,01	21,17	35	588	0	0,00
ZINC	<i>mg/l</i>	0,04	0,10	5	39	0	0,00

Algunos de sus parámetros más característicos presentan importantes porcentajes de muestras que superan los valores límites permitidos. Entre ellos destacan la DBO₅ y el fósforo con un porcentaje de superación frente al total de muestras analizadas de 86,0% y 15,8%, respectivamente.

Entre el resto de parámetros informados con elevados porcentajes de muestras fuera de los límites permitidos cabe mencionar el poder espumógeno (30,6%), los sólidos suspendidos totales (28,6%) y los aceites y las grasas (15,2%).

Medición de parámetros típicos de RIL

En general, las industrias pertenecientes al rubro de hoteles y restaurantes informan sobre todos los parámetros característicos asociados a su actividad, menos la DQO. Para las aguas residuales del sector de restaurantes, bares y cantinas, equiparables a las aguas domésticas, Metcalf & Eddy, (1991), ha publicado valores entre 250 – 1.000 mg O₂/l.

Tabla 45. Caracterización físico química del sector de clínicas y hospitales.

Clínicas y hospitales							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	17,59	35,96	150	474	3	0,63
CADMIO	mg/l	0,00	0,00	0,5	2	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,00	0,00	3	2	0	0,00
CROMO TOTAL	mg/l	0,00	0,00	10	2	0	0,00
DBO5	mg/l	202,99	400,90	variable	474	445	93,88
FÓSFORO	mg/l	4,67	7,68	10-45	433	6	1,39
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	4,24	4,50	20	30	0	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,00	0,00	4	2	0	0,00
NITROGENO AMONICAL	mg/l	11,42	27,80	80	83	1	1,20
PH	-	7,56	8,04	5,5-9,0	467	23	4,93
PH MIN	-	7,11	7,47	5,5	82	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,00	0,00	1	2	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	mm	9,55	16,83	7	472	153	32,42
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	3,09	7,75	20	469	13	2,77
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	101,25	199,14	300	474	18	3,80
SULFATOS	mg/l	157,00	215,00	1000	2	0	0,00
TEMPERATURA	°C	18,68	21,48	35	466	2	0,43
ZINC	mg/l	0,00	0,00	5	2	0	0,00

El tratamiento de los RILES de la empresas que desempeñan su actividad diaria en los servicios sanitarios (clínicas y hospitales) presenta un importante potencial de mejora.

Tras el análisis de los datos informados por las empresas registradas se demuestra que éstas no informan de todos los parámetros más característicos y los que detallan contienen resultados por encima del límite permitido. En especial destaca el caso de la DBO₅ donde el 93,9% de las muestras analizadas superan el valor máximo permitido para este rubro. Entre los otros parámetros analizados destacan los valores del poder espumígeno donde el 32,4% de los valores se encuentran por encima de 7 mm (límite definido en el DS 609).

Medición de parámetros típicos de RIL

Para una caracterización completa de sus efluentes los análisis deberían proporcionar los resultados de los sólidos disueltos totales, DQO, nitrógeno total y coliformes totales. Metcalf & Eddy (1991), publican los rangos de concentración de los sólidos disueltos totales, DQO, del nitrógeno total y de coliformes totales para aguas residuales domésticas, que son comparables a las aguas residuales del rubro de clínicas y hospitales. Los rangos son de 250 – 850 mg/l para los sólidos disueltos totales, 250 – 1.000 mg/l, 20-85 mg/l para el nitrógeno total y 1.000.000 a 1.000.000.000 NMP/100 ml para los coliformes totales.

Tabla 46. Caracterización físico química de otras actividades: asociaciones, ocio y servicios

Otras Actividades: asociaciones, ocio y servicios.							
Parámetros	Unidad de medición	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
ACEITES Y GRASAS	mg/l	37,89	72,86	150	297	18	6,06
ARSÉNICO	mg/l	0,03	0,03	0,5	13	0	0,00
CADMIO	mg/l	0,00	0,01	0,5	28	0	0,00
CIANURO	mg/l	0,06	0,09	1	28	0	0,00
COBRE TOTAL	mg/l	0,19	0,49	3	28	0	0,00
CROMO TOTAL	mg/l	0,30	0,34	10	28	0	0,00
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0,09	0,16	0,5	28	0	0,00
DBO5	mg/l	260,57	561,14	variable	343	162	47,23

Otras Actividades: asociaciones, ocio y servicios.							
<i>Parámetros</i>	<i>Unidad de medición</i>	Valor medio	Valor superior promedio	Límite aceptado (DS 609)	Nº muestras analizadas	Nº muestras superan límite	% muestras superan límite
FÓSFORO	mg/l	9,35	17,76	10-45	282	51	18,09
HIDROCARBURO VOLATIL	mg/l	0,89	0,97	sin límite	35	0	0,00
HIDROCARBUROS FIJOS	mg/l	3,59	4,80	sin límite	35	0	0,00
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/l	6,05	13,78	20	159	6	3,77
MANGANESO	mg/l	0,39	0,81	4	28	0	0,00
MERCURIO	mg/l	0,00	0,00	0,02	28	0	0,00
NÍQUEL	mg/l	0,19	0,25	4	28	0	0,00
NITROGENO AMONIACAL	mg/l	34,60	88,39	80	136	53	38,97
PH	-	8,29	8,70	5,5-9,0	249	50	20,08
PH MIN	-	6,75	7,28	5,5	116	0	0,00
PLOMO	mg/l	0,07	0,10	1	25	0	0,00
PODER ESPUMÓGENO	mm	9,50	11,92	7	235	73	31,06
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	12,47	23,44	sin límite	26	0	0,00
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	7,14	14,73	20	106	9	8,49
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	275,96	822,49	300	252	63	25,00
SULFATOS	mg/l	382,82	481,04	1000	34	0	0,00
SULFUROS	mg/l	1,00	2,99	5	28	2	7,14
TEMPERATURA	°C	23,33	25,07	35	248	8	3,23
ZINC	mg/l	0,64	1,32	5	29	0	0,00

El análisis de los datos informados por empresas vinculadas a actividades relacionadas con el ocio, culturales, deportivas y de servicios demuestra que el tratamiento de sus RILES tiene un elevado potencial de saneamiento.

Entre los parámetros más característicos se destaca que 2 de ellos presentan un elevado número de muestras que rebasa el límite permitido. En concreto, frente al total de muestras analizadas por parámetro la DBO₅ contiene un 47,2% de muestras por encima del límite y el fósforo un 18,1%. Igualmente, del resto de parámetros destacan el nitrógeno amoniacal (39,0%), el poder espumógeno (31,1%) y los sólidos suspendidos totales (25%).

Medición de parámetros típicos de RIL

Entre el total de 27 parámetros monitoreados (entre las distintas empresas) únicamente 4 de ellos pertenecen a la categoría de los más característicos. En este sentido, y para completar la caracterización de sus efluentes es preciso incluir en las analíticas los valores referentes a la concentración de DQO y nitrógeno, ya que son parámetros característicos asociados al sector en cuestión.

Metcalf & Eddy (1991), publican los rangos de concentración la DQO y del nitrógeno total para aguas residuales domésticas, que son comparables a las aguas residuales del rubro de otras actividades: asociaciones, ocio y servicios. Los rangos son de 250 – 1.000 mg/l para la DQO y 20-85 mg/l para el nitrógeno total.

3.2.1 Medición de los parámetros típicos de RIL por rubro del DS 609

En relación a los parámetros típicos de RIL de los 13 rubros de las empresas/industrias de la base de datos del DS 609, los contaminantes más comunes que se deberían medir en la mayoría de rubros son la DQO, la DBO₅ en 12 y 10 rubros, respectivamente, el fósforo, en 9 rubros, y el nitrógeno total, en 7 rubros. Así pues, los contaminantes que deberían ser controlados en la mayoría de los rubros de la base de datos del DS 609 son la materia orgánica y los nutrientes.

La siguiente tabla muestra los parámetros típicos de RIL comunes en, como mínimo, cinco rubros. Entre estos parámetros, la DQO, el cromo total y los sólidos disueltos totales, no se encuentran normados. Por otro lado, la medición del nitrógeno total no es obligatoria según el DS 609, aunque sí que se debe medir el nitrógeno amoniacal.

Tabla 47. Parámetros típicos por número de rubros incluidos en la base de datos del DS 609

Parámetro típico	Nº rubros (13)	Norma
DQO	12	No normado
DBO ₅	10	DS 90; DS 609; NSCA
Fósforo	9	DS 90; DS 609; NSCA
Nitrógeno total	8	DS 90; NSCA
Aceites y grasas	6	DS 90; DS 609; NSCA
pH	6	DS 90; DS 609; NP; NSCA
Cromo total	5	No normado
Sólidos disueltos totales	5	No normado

Los rubros de las empresas incluidas en la base de datos del DS 609 no realizan seguimiento de todos los parámetros considerados como típicos de RIL. La Tabla 49 muestra los parámetros típicos no informados por cada rubro, la norma (en su caso) y el valor medio o rango típico de rubro de acuerdo a las referencias bibliográficas.

El parámetro que los rubros han informado en menor grado son la DQO (12 rubros), el nitrógeno total (8 rubros) y los coliformes fecales (4 rubros).

Tabla 48. Parámetros típicos no informado por rubro en la base de datos del DS 609

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado (a)	Valor o Rango	Referencia
Industria de Manipulación y Transformación de Carne y Pescado	Aceites y grasas	DS 90; DS 609; NSCA	10 mg/l*	World Bank, 1999
	Coliformes fecales	NP; NSCA; DS 90	400 NMP/100 ml*	World Bank, 1999
	DQO	No normado	250 mgO ₂ /l*	World Bank, 1999
	Fósforo	DS 90; DS 609; NSCA	5 mg/l*	World Bank, 1999
	MES	No normado	-	World Bank, 1999
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	10 mg/l*	World Bank, 1999
	Ph	DS 90; DS 609; NP; NSCA	6-9*	World Bank, 1999
	Sólidos suspendidos totales	DS 90; DS 609; NP; NSCA	50 mg/l*	World Bank, 1999
Industria de Curtidos y Textil	AOX	NSCA	0,65 (0,13-2,5) mg/l	Comisión Europea, 2003b
	DQO	No normado	-	-
	Nitrato	NSCA	-	-
	Nitrógeno orgánico	No normado	31,86 (4,7 – 158) mg/l	Comisión Europea, 2003b
	Nitrógeno total	DS 90	-	-
Industria de Fabricación de Metales y Productos Elaborados de Metal	Estaño	DS 90	0,026 mg/l	Comisión Europea, 2001b
Industria de Productos Químicos	AOX	NSCA	1,7	-
	Benceno	No normado	-	-

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado (a)	Valor o Rango	Referencia
	DQO	No normado	100–25.000 mgO ₂ /l	Comisión Europea, 2006c
	Fenoles	DS 90; DS 609; NSCA	-	-
	Fluoruro	DS 90; DS 609; NSCA	-	-
	Fosfato	NSCA	-	-
	Nitrato	NSCA	1,3 mg/l	Datos de rubros similares medidos
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	700,74 (6,4 – 5.458) mg/l	Comisión Europea, 2006c
	TOC	No normado	1.600 mg/l	Comisión Europea, 2006c
Industria de Bebidas	Coliformes fecales	NP; DS 90; NSCA	549-6.395 NMP/100ml	Datos de emisión reportados por industria en el DS90
	DQO	No normado	3,7 – 3.000 mgO ₂ /l	Comisión Europea, 2006b
	MES	No normado	-	-
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	-	-
	Nitrógeno total kjeldahl	DS 90; DS 609	35,9-1288 mg/l	Comisión Europea, 2006b
Elaboración de productos de harinas y pastelería	Coliformes fecales	NP; DS 90; NSCA	15.000 -22.000	Datos de emisión reportados por rubros similares en el DS90
	DQO	No normado	-	-
	MES	No normado	-	-
Actividades de edición e impresión	DQO	No normado	150 mgO ₂ /l	World Bank, 1999
	Fenoles	DS 90; DS 609; NSCA	-	-
	Plata	No normado	0,5 mg/l	World Bank, 1999
	SAAM	No normado	-	-
Fabricación de productos minerales no metálicos	Ácido bórico	No normado	-	Comisión Europea, 2007
	Antimonio	No normado	<0,01	Comisión Europea, 2007
	Bario	No normado	0,32	Comisión Europea, 2007

Rubro	Parámetro típico no informado	Normado (a)	Valor o Rango	Referencia
	DQO	No normado	-	Comisión Europea,
	Estaño	DS 90	<0,01	Comisión Europea, 2007
	Fenoles	DS 90; DS 609; NSCA	-	-
	Fluoruro	DS 90; DS 609; NSCA	<2	Comisión Europea, 2007
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	-	-
Fabricación de muebles	DQO	No normado	250-1.000 mgO ₂ /l	Metcalf & Eddy, 1991
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	20-85 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991
Comercio al por mayor y al por menor	DQO	No normado	250-1.000 mgO ₂ /l	Metcalf & Eddy, 1991
Restaurantes, bares y cantinas	DQO	No normado	250-1.000 mgO ₂ /l	Metcalf & Eddy, 1991
Clínicas y hospitales	Coliformes fecales	NP; DS 90; NSCA	10 ⁶ – 10 ⁹ NMP/100 ml	Metcalf & Eddy, 1991
	DQO	No normado	250 – 1000 mgO ₂ /l	Metcalf & Eddy, 1991
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	20- 85 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991
	Sólidos disueltos totales	No normado	250 - 850	Metcalf & Eddy, 1991
Otras actividades: asociaciones, ocio y servicios	DQO	No normado	250 – 1000 mgO ₂ /l	Metcalf & Eddy, 1991
	Nitrógeno total	DS 90; NSCA	20- 85 mg/l	Metcalf & Eddy, 1991

*Valores máximos medidos

(a) en caso de estar normado por DS 609, se indica de manera independiente del rubro, indica que es un parámetro incluido en el decreto, sin especificar rubro.

En total, de los 29 parámetros normados según el DS 609, el DS 90 o bien por las Normas primarias o secundarias de calidad ambiental, y que no han sido informados, se han entregado valores medios o rangos reportados en la bibliografía para 19 parámetros. Los 10 parámetros restantes no se encuentran disponibles en la bibliografía consultada.

4. Fichas técnicas de las tecnologías de abatimiento

Las fichas técnicas de las tecnologías de abatimiento tienen por objeto sistematizar y organizar la información técnica descriptiva del funcionamiento de cada tecnología, y valorar su factibilidad para ser desarrolladas en Chile, en caso de que todavía no estuvieran implementadas.

En primer lugar se han seleccionado las tecnologías según su capacidad para reducir la carga de los contaminantes de las aguas residuales industriales considerando los límites establecidos por las normativas de emisión DS 90 y DS 609. La selección de estas tecnologías se ha completado de acuerdo al levantamiento bibliográfico sobre las tecnologías actuales de tratamiento de aguas. A continuación se presenta el listado de las tecnologías que configura el ámbito de estudio en el presente informe:

Tabla 49. Tecnologías de tratamiento descritas en las fichas técnicas.

Tecnologías de tratamiento			
Tratamientos primarios o físicos	Desbaste		Flotación
	Sedimentación		Filtración
	Tamizado		Cribado
Tratamientos Químicos	Precipitación Química		Coagulación
	Neutralización		Floculación
Sistemas Biológicos	Filtros Biológicos		Tratamientos Aeróbicos
			Lodos Activados
			SBR-Biorreactor Discontinuo Secuencial
	BRI - Biorreactor de Biomasa Inmovilizada		
Tratamientos Anaeróbicos	UASB – Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos,		Biometanización
	EGSB – Reactor de Lecho Granular Expandido		Lagunas de Oxidación
Tecnologías de membrana	BRM (Biorreactor de Membrana)		Ósmosis Inversa
	Electrodesionización		RALF (Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado)
	Electrodialísis		Ultrafiltración

Tecnologías de tratamiento	
Nanofiltración	Microfiltración
GAC (Carbón Activado Granular)	CAP (Carbón Activo en Polvo)
Procesos de Oxidación Avanzada (POAs)	
Ozonización	
Electrocoagulación	
Cavitación	

Cada una de estas fichas recoge información técnica, la eficiencia y el grado de desarrollo de la tecnología en Chile. A continuación se indica la información contenida en las fichas técnicas que se ha estructurado en nueve secciones:

- a) Descripción de la tecnología: de forma genérica, las tecnologías se pueden clasificar en tres grandes grupos según tratamiento primario, secundario o terciario.
 - Tratamiento primario: se define como aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas y sólidos en suspensión. El proceso principal del tratamiento primario es la decantación o sedimentación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas más pesadas suspendidas en el agua se separen sedimentándose. Otros procesos de tratamiento primario incluye el mecanismo de flotación con aire, en donde se eliminan sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.
 - Tratamiento secundario: los tratamientos secundarios son procesos biológicos, en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa a través de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que eliminan o transforman los diferentes tipos de materia orgánica, nutrientes y otros elementos químicos tales como el sulfuro y los metales. Según la vía de degradación empleada, estas reacciones pueden ser realizadas bajo condiciones aerobias (presencia de oxígeno disuelto), anóxicas (ausencia de oxígeno disuelto, presencia de nitratos) o anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto y nitratos). Asimismo, la biomasa empleada

durante el tratamiento se puede mantener en suspensión o adherida a un material soporte.

- Tratamientos terciarios: el objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario. El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes tratados mediante un proceso biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada de éstos para el reúso. Los sistemas terciarios son tratamientos específicos y costosos que son aplicados cuando se requiere un efluente final de mayor calidad que el obtenido con los tratamientos convencionales. Dentro de los tratamientos terciarios, se destacan las tecnologías para la remoción de nutrientes, principalmente, fósforo y nitrógeno. Para el tratamiento del fósforo, existen tanto técnicas químicas (precipitación química o bien la ósmosis inversa y procesos biológicos. En cuanto a la remoción del nitrógeno, los procesos más habituales son la nitrificación - desnitrificación. El anexo B amplía la información sobre los procesos terciarios de remoción de nutrientes.
- b) Parámetros o contaminantes tratados: identifica que parámetros físico-químicos son tratados por tecnología y los clasifica según si son normados por las normas primarias, emisión y NSCA, o bien son parámetros no normados.
- Especificaciones técnicas de la tecnología.
 - Las condiciones operativas, y en específico, sobre el tiempo, el pre-tratamiento adecuado a la tecnología, la temperatura, si es selectiva, y el tipo de operación (continuo – discontinuo).
 - Eficiencia de remoción: indica el porcentaje de abatimiento de la tecnología de estudio para cada uno de los parámetros.
 - Capacidad de tratamiento por caudal.
 - Caudal de efluente a generar.
 - Reactivos utilizados según caudal: reactivo utilizados y concentración a aplicar según caudal de tratamiento.
 - Consumo de energía.

- Condiciones limitantes: cuales son las principales desventajas y limitaciones del uso de esta tecnología de tratamiento.
 - Reutilización del efluente: si existe la posibilidad de reutilizar el efluente, si la respuesta es afirmativa, indica en qué casos.
 - Subproductos generados: emisiones derivadas de la tecnología tanto atmosféricas como de residuos sólidos y líquidos.
 - Vida media de la tecnología: años de vida media de la tecnología.
- c) Rubros y/o empresas con factibilidad de implementación: indica que tipo de empresas en las que se implementaría la tecnología, así como las características del RIL para cada uno de los sectores. Los parámetros más característicos se resaltan en negrita.
- d) Proveedores: algunos de los proveedores de la tecnología en Chile y/o en el extranjero.
- e) Uso actual de la tecnología/factibilidad de implementación: si la tecnología está implementada en Chile o en caso contrario indica la factibilidad de su implementación.
- f) Casos tipo de aplicación: en caso de desarrollo de la tecnología en Chile, se describe un ejemplo, o varios casos, en que actualmente se está aplicando la tecnología.
- g) Compatibilidad con otras tecnologías: se describe las interacciones más comunes, tanto de pre-tratamiento como post-tratamiento de otras tecnologías con la tecnología descrita en la ficha.
- h) Estimación de costos: se presenta la información relativa a las funciones teóricas de costos de inversión y de operación y mantenimiento de la tecnología de acuerdo al caudal, los costos de los reactivos, el consumo energético de la planta, el área ocupada por la instalación, el personal calificado necesario en la instalación, el control y monitoreo requerido así como la vida útil de los equipos. El contenido de la estimación de costos se presenta en forma de tabla. En el numeral 5 se describe cada uno de los conceptos incluidos en la tabla.
- i) Representación de las funciones de costos de inversión: se representa gráficamente para los costos de inversión y de operación y mantenimiento:
- Relación de US\$ con el caudal de diseño.

- Relación de US\$/ (m^3/h) con el caudal de diseño.

La siguiente tabla resume los parámetros a tratar por cada una de las tecnologías incluidas en este estudio.

Tabla 50. Tecnologías de tratamiento y parámetros a tratar

Tecnología	Parámetros
Tratamientos primarios o físicos (desbaste, flotación, sedimentación, filtración, tamizado, cribado)	DBO, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables, hierro, manganeso.
Tratamientos químico (Coagulación – floculación)	pH, color, mercurio, arsénico, DBO, poder espumógeno, aceites y grasas, SST, sólidos sedimentables, nitrógeno, fenol, fósforo, turbidez, cationes y aniones en general, DQO, AOX, fenol.
Tratamientos químico (Neutralización)	SST, DBO, fósforo, cianuro.
Tratamientos químico (Precipitación Química)	SST, DBO, aceites y grasas, color, turbidez, E. Coli, mercurio, arsénico, cadmio, fosfato, DQO, poder espumógeno, aceites y grasas, selenio, fluoruro, nitrógeno amoniacal ($NH_3.N$), nitrógeno orgánico, zinc, manganeso, hierro, cobre, plomo, plata, alcalinidad, cromo.
Tratamiento biológico (Biofiltros)	SST, coliformes fecales, DBO5, color, nitrógeno total, aceites y grasas, sólidos sedimentables, fósforo total, tolueno, amonio, turbidez, sólidos suspendidos volátiles (SSV), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos, fenol, estireno.

Tecnología	Parámetros
Tratamiento biológico (Biometanización)	DQO, sólidos volátiles.
Tratamiento biológico (Biorreactor de Biomasa Inmovilizada - BRI)	SST, DBO ₅ , hidrocarburos volátiles, aceites y grasas, orgánicos volátiles, pesticidas, alifáticos y aromáticos de petróleo, dicloruro de etileno, tricloroetileno, DQO, sólidos suspendidos volátiles (SSV).
Tratamiento biológico (Reactor de Lecho Granular Expandido - EGSB)	SST, aceites y grasas, nitrógeno total, nitrito, color, DQO, COD, amonio.
Tratamiento biológico (Lagunas de oxidación)	Coliformes fecales, pH, DBO ₅ , fósforo total, aceite y grasas, nitrógeno total, SST, sólidos sedimentables, temperatura, nitrógeno total, DQO.
Tratamiento biológico (Lodos activados)	Coliformes fecales, DBO, nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N), nitrógeno total, SST, fosfato, amonio, DQO, nitrógeno orgánico, diclorofenol, triclorofenol, tetraclorofenol, pentaclorofenol.
Tratamiento biológico (SBR- Biorreactor Discontinuo Secuencial)	pH, SST, nitrógeno total, sólidos sedimentables, hidrocarburos totales, índice de fenol, fósforo total, sulfatos, DBO, fosfato, amonio, nitrógeno total, nitritos, nitratos, DQO, compuestos refractarios, compuestos organoclorados.
Tratamiento biológico (UASB – Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos)	DBO, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, sulfato, DQO, tricloroetileno (TCE), triclorotolueno, 2,4 diclorofenol, 2-clorofenol, hexaclorociclohexano, 2,4 diclorofenol, 1,1,2,2-tetracloroetano.

Tecnología	Parámetros
Tecnología de membrana (BRM - Biorreactor de Membrana)	DBO5, nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal, aceites y grasas, microorganismos patógenos, COD, turbidez, COT.
Tecnología de membrana (Electrodesionización)	Cloruro, sulfato, aluminio, boro, manganeso, zinc, nitrato, fosfato, sodio, amonio, potasio, calcio.
Tecnología de membrana (Electrodialisis)	Sulfato, arsénico, SST, nitrato, fosfato, otros parámetros cargados eléctricamente.
Tecnología de membrana (Nanofiltración)	Hierro, arsénico, nitrato, COT, herbicidas, precursores THM.
Tecnología de membrana (Osmosis inversa)	Arsénico, cianuro, mercurio, SST, aluminio, cadmio, cobre, plomo, cloruros, hierro, manganeso, sulfatos, fluoruros, nitratos, nitritos, bario, cromo total, radio.
Tecnología de membrana (Reactor anaerobio de lecho fluidizado - RALF)	Coliformes fecales, pH, color, DBO5, SST, sólidos sedimentables, coliformes fecales, cloruros, aceites y grasas, nitrógeno total, DQO, fenol, 2,4,6 triclorofenol, turbidez.
Tecnología de membrana (Microfiltración y ultrafiltración)	Color, SST, sólidos sedimentables, AOX, color, turbidez, pesticidas, agentes patógenos.
Tratamiento de adsorción (GAC - Carbón Activado Granular, CAP - Carbón Activo en Polvo)	Color, DBO, SST, sólidos sedimentables, aceites y grasas, trihalometanos, sabor, olor, agente espumógeno, cloro libre, bromo, BTEX, pesticidas, PFOS (sulfonatos de perfluorooctano), PFOA (ácido perfluorooctanoico), BPA (bisfenol A).

Tecnología	Parámetros
Procesos de Oxidación Avanzada (POAs)	Arsénico, cianuro, color, DBO, SST, sulfatos, índice de fenol, AOX, amonio, precursores de trihalometanos (THM), tartrazina, DQO, COT, tensoactivos, nitrógeno, fenol, tricloroetano.
Ozonización	Cianuro, sulfuros, SST, DBO, hierro, nitrito, AOX, compuestos coloreados poliaromáticos que habitualmente incorporan iones metálicos (Cu, Ni, Zn, Cr), tensoactivos, DQO, turbidez, magnesio, fenoles, detergentes, pesticidas, compuestos nitrogenados, metales disueltos, COD, atrazina, simazina, terbutilazina, bromacilo.
Electrocoagulación	Cromo hexavalente, arsénico, cadmio, DBO, aceites y grasas, SST, fósforo total, nitrógeno total, boro, cobre, molibdeno, aluminio, hierro, manganeso, níquel, selenio, calcio, material orgánico e inorgánico, metales de aguas residuales de diferentes fuentes e industrias, flúor, turbidez, color, DQO, polifenoles, bario, cobalto, magnesio.
Cavitación	Coliformes fecales, nitrógeno total, SST, aceites y grasas, biosólidos, manganeso, sulfato, nitrato, hierro – Hn4, aluminio, cadmio, cobre, hierro.

5. Estimación de costos de inversión, operación y mantenimiento

Los costos de inversión, operación y mantenimiento de las tecnologías de abatimiento de contaminantes de RILES y aguas servidas dependen sobre todo de las características físico-químicas de los RILES y/o aguas servidas, de la calidad que se requiere del efluente de salida, de la capacidad de la planta, del diseño de ingeniería y de la ubicación de la planta.

Debido a las importantes diferencias que pueden existir en estas variables para cada uno de los diferentes proyectos, estas tienen un peso importante en el costo final de instalación de una tecnología. Por este motivo, para una misma tecnología, en función de las características del proyecto, las variaciones en el costo pueden ser muy importantes.

La Asociación para el Desarrollo en Ingeniería de Costos (AACE: Association for the Advancement of Cost Engineering), clasifica en cinco niveles la estimación de costos en función del grado de detalle en la definición del proyecto. La siguiente tabla muestra los diferentes niveles de estimación de costos:

Tabla 51. Clasificación de estimación de costos de inversión

Grado estimación de costos	Grado de definición del proyecto (%)*	Grado de precisión prevista de estimación de costos**
Clase 5 – Orden de magnitud	0-2	4-20
Clase 4 – Intermedio	1-15	3-12
Clase 3 – Preliminar	10-40	2-6
Clase 2 - Intermedio	30-70	1-3
Clase 1 - Definitivo	50-100	1

Fuente: AACE International, 2012. Recommendations Practice.

*% sobre definición total del proyecto

**Rango relativo de precisión sobre el máximo=1

De acuerdo a la información disponible y al objetivo final del estudio que pretende establecer el orden de magnitud de los costos de inversión de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, el presente informe ha estimado los costos de acuerdo a la clase 5 de estimación de costos. El error asociado puede ser de hasta 20 veces mayor que la

estimación de costos en un presupuesto más definitivo. AWWA (American Works Association) y ASCE (American Society of Civil Engineers)¹⁹, 1990, indican que, en porcentaje el valor de precisión de una estimación tipo de orden de magnitud se encuentra entre 30 -50% (50-70% de error).

Los valores de los costos para cada tecnología se presentan en forma de tabla en cada una de las fichas de cada tecnología (anexo A). A partir de éstos, se van a diseñar las curvas de costos de inversión y operación y mantenimiento para cada tecnología, mediante la metodología de factor de capacidad.

Las tablas se han completado con aquellos valores más confiables, tanto, por su fuente de origen como por entregar valores estimados que se ajustan a rangos de datos reales o bien bibliográficos. Sin embargo, hay que considerar el uso de diferentes fuentes de información y, por lo tanto, diferentes tipos de carga contaminante, rubros y ubicaciones, conlleva a una variabilidad importante en los costos estimados, de acuerdo a la clasificación de estimación de costos indicada, de grado 5.

A continuación se describe la información de costos recopilada para cada una de las tecnologías, de uso más generalizado en Chile:

- a) Costos de inversión total: este costo es el resultado de la suma del costo de los equipos y su instalación y el costo asociado con los trabajos de obra civil, ambos costos especificados por caudal de diseño de la tecnología. En cuanto a los costos de obra civil, estos pueden variar sustancialmente si consiste en la construcción de una nueva planta o bien consiste en una actualización tecnológica de una instalación pre-existente, así como de la ubicación de la planta, siendo más costoso en lugares de difícil acceso o con condiciones de trabajo más difíciles.
- b) Costos de operación y mantenimiento anual: este valor incluye el costo del personal laboral dedicado a la operación del sistema, aditivos y consumo energético, en relación al caudal de diseño de la tecnología. En cuanto al consumo de los aditivos, las concentraciones usadas para cada tecnología, dependen de la carga contaminante de las aguas.

¹⁹ Citado en United Nations, 2003. Waste-Water Treatment Technologies: A general Review. Economic and Social Commission for Western Area.

- c) Rango de consumo de aditivos necesarios y costo de las sustancias químicas por kg o litro.
- d) Factores de consumo energético asociado a la operación de la planta, de acuerdo al caudal de diseño de la planta.
- e) Estimación del área ocupada por la tecnología de abatimiento según el caudal de diseño.
- f) Personal necesario calificado para la planta: tipo de calificación y costo.
- g) Descripción de las tareas de control y monitoreo necesarios para cada tecnología.
- h) Vida útil, en años.

6. Factibilidad de implementación en Chile de nuevas tecnologías de abatimiento

En el proceso de revisión de las tecnologías de abatimiento se ha recopilado información sobre su implementación en Chile y la existencia de proveedores. Del total de las 31 tecnologías identificadas, la mayoría han sido ya desarrolladas en Chile, algunas de ellas de aplicación común y muy generalizada, como son los lodos activados o los tratamientos físicos.

Sin embargo, hay algunas tecnologías que, aunque han sido instaladas, no se ha identificado ningún proveedor, como es el caso del BRI y la electrodesionización. En el caso de la tecnología de RALF y electrodiálisis, tampoco se han identificado proveedores; en cuanto a las instalaciones en Chile, su aplicación no está muy generalizada. Finalmente, se ha detectado un último grupo de tecnologías, que no se han desarrollado en Chile y tampoco se han detectado distribuidores de las mismas. En este último grupo de tecnologías se encuentra el BRM, la biometanización, los procesos de oxidación avanzada (POA) y la cavitación. La Tabla 52 clasifica las tecnologías según su uso en Chile.

Tabla 52. Uso actual de la tecnología en Chile

Aplicación en Chile	Tecnología	
Utilizado comúnmente en Chile	Desbaste	Filtros biológicos
	Tamizado	Lodos Activados
	Cribado	SBR
	Flotación	Lagunas de oxidación
	Filtración	Ósmosis inversa
	Sedimentación	Ultrafiltración
	Precipitación química	Microfiltración
	Neutralización	Nanofiltración

	Coagulación-Floculación	Adsorción por carbón activado granular
	Electrocoagulación	Adsorción por carbón activado en polvo
	Ozonización	
Aplicada puntualmente en Chile.	EGSB	UASB
Aplicada en Chile. No se detecta proveedor	BRI	Electrodesionización
Aplicada puntualmente en Chile. No se detectan proveedores.	RALF	Electrodialisis
No se detecta aplicación ni proveedores en Chile	Biometanización	BRM
	Cavitación	POA

Entre las tecnologías que no se han implementado en Chile, se encuentran aquellas tecnologías que se consideran emergentes: la cavitación y los POA. Estos dos tipos de tratamientos están en fase de desarrollo. No obstante, existen casos puntuales de aplicación de la tecnología a nivel industrial con proveedores especializados en esta tecnología a nivel internacional.

Otras tecnologías consideradas más avanzadas, como son la electrodiálisis, el RALF, el BRI, el EGSB o el BRM ya están siendo implementadas en mayor o menor grado en Chile. En este sentido, las tecnologías emergentes, a medida que aumente el grado de madurez y conocimiento y disminuya el costo de su implementación surgirán poco a poco nuevas instalaciones en Chile. Además, cabe tener en cuenta que, en Chile, la industria de tratamiento de aguas residuales ya tiene un notable desarrollo y cuenta con la presencia de empresas internacionales que pueden facilitar la transferencia de conocimiento, el uso e implementación de nuevas prácticas y/o tecnologías.

En la actualidad, Chile cuenta con grupos de investigación en el sector de las aguas en diferentes universidades, así como el Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos – CIDERH y un sector empresarial desarrollado en el tratamiento de aguas residuales. Para incrementar la velocidad con la que las tecnologías emergentes y avanzadas se desarrollen en Chile, se debe impulsar su aplicación implicando a los organismos de investigación (centros de estudios), y favorecer la creación y/o

transformación de las empresas del sector a firmas con mayor desarrollo tecnológico a través de programas de financiación focalizados en el desarrollo de la I+D en este sector.

7. Base de datos sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos

La base de datos contiene la información sobre los antecedentes de las fichas tecnológicas, costos y compatibilidad entre tecnologías del total de las 31 tecnologías revisadas en Chile. La base de datos se ha realizado en formato de planilla Excel, y se estructura en las siguientes hojas de datos:

- Glosario
- ID_TEC: tabla para la identificación numérica de la tecnología.
- ID_PAR: tabla para la identificación mediante símbolos de los parámetros.
- ID_PRE_TRAT: tabla para la identificación numérica de las tecnologías y combinación de tecnologías que forman parte de la etapa de pre-tratamiento.
- TECNOLOGIA PARAMETROS: contiene para cada tecnología información relativa al tipo de tratamiento, parámetros que abaten y la eficiencia de remoción mínima, medio y máximo.
- TECNOLOGÍA CARACTERÍSTICAS: datos sobre el pre-tratamiento más común, la selectividad, el tipo de operación y la vida útil de cada tecnología.
- FUNCIONES DE COSTO: compila la función de costos de inversión, de operación y mantenimiento de cada una de las tecnologías en un rango de caudal determinado, indicando el costo mínimo y máximo de inversión y de operación para cada tecnología.
- INSUMO REACTIVOS: Costo de los reactivos para cada tecnología.
- MATRIZ_RUBRO_TECNOLOGÍA: Matriz numérica (0,1) en que se indican las tecnologías más comunes para diferentes rubros industriales. Los rubros que generan aguas residuales equiparables a aguas servidas (como hospitales o restaurantes) se han indicado aquellas tecnologías que son más factibles de instalar en las plantas de tratamiento de aguas servidas.
- MATRIZ_COMPATIBILIDAD_TECNOL: Matriz numérica (0,1,2,3) que define el tipo de interacciones o bien la incompatibilidad entre las tecnologías revisadas.

- INSUMO_CONSUMO_ENERGÉTICO: Información sobre el consumo energético de la tecnología, del personal necesario y de las necesidades de monitoreo y control.

8. Conclusiones

El desarrollo del proyecto sobre información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión ha levantado antecedentes sobre: (i) las características de los RILES que las industrias descargan a aguas marinas y superficiales y continentales (DS 90) y al alcantarillado (DS 609), (ii) la medición de los parámetros típicos por rubro y sus valores característicos, (iii) las tecnologías de abatimiento de RILES y (iv) el estudio y diseño de las funciones de costos de inversión y de operación y mantención de las tecnologías.

El análisis por rubros de los parámetros informados ha mostrado que existe una elevada variación en las concentraciones de contaminantes emitidos entre las empresas de un mismo rubro. En relación a los valores límites de emisión, se ha presentado para cada rubro el porcentaje de las muestras informadas que se encuentran por encima de estos. En este sentido, de acuerdo a las concentraciones para los parámetros considerados típicos de RIL, se enumeran a continuación los rubros que tienen un importante grado de mejora en el tratamiento de RILES y/o de prevención de la contaminación: industria de transformación de carne y pescado (DS 90 y DS 609), elaboración de productos lácteos (DS90), industria de curtidos y textil (DS 90 y DS 609), fabricación de metales y productos elaborados de metal (DS 90), elaboración de harinas y pastelería (DS 609), actividades de edición e Impresión (DS 609), sustancias y productos químicos (DS 609), elaboración de bebidas (DS 609), fabricación de muebles (DS 609), comercio al por mayor y menor (DS 609), restaurantes, bares y cantinas (DS 609), clínicas y hospitales (DS 609) y otras actividades.

El estudio de los parámetros considerados como típicos de RIL por rubro ha mostrado que los nutrientes (N y P) y materia orgánica (DQO o DBO₅) son los contaminantes a medir de forma más común por las industrias, tanto si las industrias deben cumplir el DS 90 o el DS 609. Dentro de la medición de la materia orgánica se observa que aunque la DBO₅ si es un parámetro normado, la DQO no lo es. En cuanto al seguimiento de estos contaminantes, las empresas miden la mayoría de parámetros considerados como típicos en cada sector, sin embargo, ninguno de los rubros entrega mediciones de todos los parámetros típicos de su sector. La mayoría de estos parámetros no informados no están normados por el DS 90 o DS 609. En las empresas incluidas en el DS 90, el parámetro que los rubros han informado en menor grado son la DQO (12 rubros), el nitrógeno total (7 rubros) y los coliformes fecales (4 rubros).

La información sobre las 31 tecnologías de abatimiento revisadas se ha presentado en formato de ficha y en una base de datos. Entre los antecedentes revisados se han analizado los costos de inversión y de operación y mantenimiento, excepto para los POA y la cavitación, ya que las experiencias actuales, a nivel piloto, no permiten entregar valores aplicados a escala industrial. La obtención de costos reales, para este análisis, a partir de empresas proveedoras ha sido muy bajo, debido a que los proveedores manejan datos de costo específicos para proyectos con condiciones muy específicas que obstaculizan la entrega de valores de carácter general. Sin embargo, y de acuerdo, al objetivo final del estudio que pretende establecer el orden de magnitud de los costos de inversión de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, el grado de error asociado a las estimaciones realizadas se ajusta a las necesidades del estudio.

A partir de los datos recopilados en la bibliografía, proveedores y expertos, se han diseñado las funciones de costos de inversión y de operación y mantención en función del caudal para 29 tecnologías de abatimiento de aguas residuales. Las funciones diseñadas muestran el incremento de forma potencial de la inversión y de los costos de mantención al aumentar el caudal del influente, aunque el factor de costo por unidad de agua tratada (US\$/m³) es menor cuanto mayor sea el caudal de tratamiento.

9. Referencias

- AACE International, 2012. Cost Estimate Classification System – As Applied for the Building and General Construction Industries. Recommended Practice No. 56R-08.
- Araujo, M. 2001. Desechos Hospitalarios: riesgos biológicos y recomendaciones generales sobre su manejo. Ministerio de Salud, División de Inversiones y desarrollo de red asistencial.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2006. Impacto Ambiental de los Emisarios Marítimos de Residuos Líquidos Domésticos. Serie de estudios N° 02/2006.
- Comisión Europea, 2001. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. Final Report.
- Comisión Europea, 2001a. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry.
http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fmp_bref_1201.pdf
- Comisión Europea, 2001b. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/nfm_bref_1201.pdf
- Comisión Europea, 2003a. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles para mataderos e industrias: <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>
- Comisión Europea, 2003b. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles para la industria textil. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/txt_bref_0703.pdf
- Comisión Europea, 2003c. Reference Document on Best Available Techniques for the Tanning of Hides and Skins. <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>
- Comisión Europea, 2004. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Cría

Intensiva de Aves de Corral y Cerdos. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>

- Comisión Europea, 2006a. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la industria de la pasta y papel. <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>
- Comisión Europea, 2006b. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>
- Comisión Europea, 2006c. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ofc_bref_0806.pdf
- Comisión Europea, 2007. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la industria cerámica. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/cer.html>
- Dyssert, L.R., 2001. Sharpen Your Cost Estimating Skill, Reprinted from Chemical Engineering Journal.
- EPA (2007). Biological Nutrient Removal Processes and Costs. Office of Water, Washington, DC 20460, EPA-823-R-07-002.
- EPA, 1979. Estimating Water Treatment Costs. Municipal Water Treatment Costs, EPA-600/2 -79-162b. Volumes I a IV
- EPA, 1983. Treatability Manual. Volume IV; Cost Estimating. Office of Research and Development, EPA – 600/2-82-001d.
- EPA, 1998. Development Document for Proposed Effluents Limitations Guidelines and Standards for the Centralized Waste Treatment Industry. Volume I, Office of Water, EPA 821-R-98-020.
- FAO (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s00.htm#Contents>
- Gariépy, D., TOC and BOD₅ correlations for biodegradable organic matter in the pulp & paper industry.

- McGivney, W. y Kawamura, S., 2008. Cost Estimating Manual for Water Treatment Facilities. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3rd. Edition. McGraw-Hill.
- Ministerio de Medio Ambiente de España, 2007. Manual para la gestión de vertidos. Centro de publicaciones Secretaria General de publicaciones oficiales. ISBN: 978-84-8320-403-0.
- Ontario Ministry of the Environment, 1991. Water Pollution Abatement Technology and Cost Study. Prepared by VHB Research and Consulting Inc, CH2M Hill Engineering Ltd. Ontario, Canada.
- PNI-Peru, UNITAR, UNEP 2011. Guía para el suministro de información al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Industria de Harina de Pescado.
- Sharma, J.R., 2010. Development of a preliminary cost estimation method for water treatment plants. Master thesis for Science in Civil Engineering. The University of Texas at Arlington.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. Estudio Tarifario Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío, S.A.. Informe Final.
- World Bank, 1999. Pollution Prevention and Abatement Handbook, Toward a Cleaner Production.

Anexo A: Fichas de tecnologías de abatimiento

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO FÍSICO

Los tratamientos físicos o primarios tienen como objetivo separar los sólidos de mayor tamaño presentes en las aguas residuales. Generalmente estos tratamientos se realizan en tanques donde el agua fluye muy despacio (decantadores primarios). Los sólidos en suspensión sedimentan por acción de la gravedad permitiendo posteriormente realizar otro tipo de tratamientos generalmente químicos, como puede ser la adición de sustancias coagulantes o floculantes que favorecen el proceso. Esta ficha se presenta de forma conjunta para los tratamientos físicos seguidamente descritos (cribado, desbaste, tamizado, sedimentación, flotación y filtración) ya que todos ellos son tratamientos de base para cualquier proceso de descontaminación de aguas servidas o industriales, y tal y como se comentó anteriormente, su objetivo principal es la remoción de los sólidos en suspensión así como la eliminación de la materia orgánica.

- **El cribado**, tecnología de tratamiento físico que consiste en eliminar los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua residual mediante un sistema de rejillas gruesas, medias y finas con aberturas que oscilan entre 5 - 90 mm.
- **El desbaste**, tecnología de tratamiento físico la cual consiste en la eliminación de los sólidos de mayor tamaño y sedimentables por retención en las superficies (rejillas y tamices). Las rejillas presentan aberturas superiores a 25 mm y se utilizan para separar los sólidos de mayor tamaño que puedan producir daños y obstrucciones en las bombas, válvulas, conducciones u otros elementos. Por otra parte los tamices no superan los 6 mm y se usan tanto para el tratamiento primario como para la eliminación de los sólidos en suspensión en el tratamiento secundario. La limpieza de ambos elementos se puede realizar mecánica o manualmente.
- **El tamizado**, tecnología de tratamiento físico la cual consiste en filtrar sobre un soporte con aberturas que oscilan entre 0,2 y 0,6 mm (macrotamizado). Por otro lado el microtamizado se realiza sobre una tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Este proceso tiene una aplicación limitada en aguas residuales, aplicándose en casos puntuales para mejorar el efluente de una planta destinada a la reutilización. Los tamices más usuales son los estáticos autolimpiantes, rotativos y de perfil en cuña.
- **La sedimentación**, tecnología de tratamiento físico la cual consiste en un pretratamiento por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente depositándose en el fondo del sedimentador. La eficacia aumenta cuanto mayor es el tamaño y la densidad de las partículas a separar, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación. El proceso de sedimentación también se le suele denominar decantación. En las aguas residuales industriales las partículas grandes y densas son poco comunes. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesaria una etapa previa de coagulación-floculación para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas.
- **La flotación**, tecnología de tratamiento físico la cual elimina materia sólida y/o líquida de densidad inferior a la del agua, así como sólidos de densidad superior. Todo flotador dispone de una purga de decantados, a través de la cual se eliminan las partículas pesadas. El Proceso FAD (Flotación por Aire Disuelto) consiste en la creación de microburbujas de aire en el seno

del agua residual, las cuales se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua.

- **La filtración**, tecnología de tratamiento físico en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesto en distintas capas con distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña entre 0.15 y 0.3 mm. Este tratamiento se utiliza para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación) tanto en el tratamiento de aguas potables como en el tratamiento de aguas industriales. Para el tratamiento de aguas industriales existe una mayor variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de tierra de diatomeas.

En cuanto al tipo de proceso filtrante, puede ser por gravedad o a presión. En la primera opción el agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad; este es un proceso muy utilizado para el tratamiento de aguas potables. En el tratamiento de filtración a presión el agua está contenida en recipientes y se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión; este es un proceso muy aplicado a las aguas industriales.

PARÁMETROS TRATADOS

Los compuestos mayoritarios eliminados mediante estas tecnologías son restos de papeles, plásticos, pequeños objetos, gravas, minerales y otras partículas no orgánicas que provocarían una fuerte abrasión y desgaste de las instalaciones a posteriori. Estos tratamientos también permiten reducir la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y mediante filtración se puede eliminar hierro y manganeso.

Normas primarias:	No aplica.
Normas de emisión:	DBO, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables, hierro, manganeso.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO, sólidos suspendidos totales (SST), hierro, manganeso.
Parámetros normados:	no No aplica.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	Filtros: 22 h/día (media de 4 paradas al día de 20 min para limpieza de filtros). Flotación por DAF: tiempo de retención 20 a 40 minutos. El funcionamiento puede llegar a ser hasta de 24 h/día Sedimentación: tiempo de retención: 2-6 h. El funcionamiento puede llegar a ser hasta de 24 h/día
----------------	--

Pre-tratamiento:	Algunas veces se realiza un pre tratamiento de coagulación-floculación.
Temperatura:	Temperatura ambiente.
Selectividad:	La selectividad varía proporcionalmente al tamaño de los sólidos.
Tipo de operación:	Continuo / discontinuo.

- **Eficiencia de remoción:** La eficiencia de estas tecnologías está determinada por la densidad de los sólidos presentes en el fluido. Mientras mayor sea su densidad, mayor será la eficiencia de remoción (a excepción de la FAD) alcanzando valores superiores al 95% para sólidos suspendidos y sedimentables.

	SST, sólidos sedimentables (%)	DBO (%)	Fe (%)	Mn (%)
Mínimo	96	n.d	80	80
Promedio	97,5	> 95	85	85
Máximo	99	n.d	90	90

(n.d: no definido)

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** La capacidad de tratamiento variará en función del diseño de la planta, pero podemos establecer un rango entre 0,15 – 500 l/s.
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente el 75% del volumen de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No utiliza reactivos. Generalmente los efluentes generados se acoplan con posteriores tratamientos secundarios y/o terciarios.
- **Consumo de energía:** requerimientos de consumo energético bajos, para estas tecnologías se sitúan entre 0,0007 y 1,9 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** El efluente de entrada debe presentar un pH entre 3-12.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Estos efluentes no suelen utilizarse directamente tras un tratamiento primario, sino que, como se comentó anteriormente, se acoplan con tratamientos posteriores secundarios o terciarios para conseguir reducir la concentración de determinados parámetros por debajo de los límites establecidos por la normativa.
- **Subproductos generados**

Residuos	Los fangos retenidos en los decantadores y en los filtros se reenvían generalmente al medio natural, ya sea directamente por descarga al mar o a un río, ya por intermedio de una red de alcantarillado.
-----------------	--

Emisiones	No genera.
------------------	------------

- **Vida media de la tecnología:** en función del propio material (rejas, tamices, sedimentadores, separadores), aproximadamente 20 años.

PROVEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Ecosystem	http://www.ecosystem.cl/
	AD Ingeniería SA	http://www.adingeneria.cl
Extranjero	Cadagua (España)	www.cadagua.es
	Cyclusid (España)	http://www.cyclusid.com

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Actualmente, las tecnologías físicas o tratamientos primarios son utilizados comúnmente. Como ejemplo, la empresa Viña El Principal ubicada en la localidad de Pirque utiliza un tratamiento primario de filtración para la recuperación de sus aguas residuales. Otras empresas como Codelco, Famae, Malloa y Minera del Indio tienen proyectos de filtración centrífuga en las localidades de Tocopilla, Santiago, Malloa y La Serena.

CASOS DE APLICACIÓN

A continuación se exponen cuatro ejemplos de tratamientos primarios.



Figura 1: Tratamiento cribado.



Figura 2: Tratamiento tamizado.



Figura 3: Tratamiento sedimentación.



Figura 4: Tratamiento desbaste.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Los tratamientos primarios o tratamientos físicos constituyen la primera fase de todos los procesos de tratamiento de aguas servidas y riles. En la mayor parte de los casos esta etapa previa es necesaria para la posterior aplicación de otro tratamiento secundario o terciario, ya sea químico, biológico o de membrana. Existen múltiples ejemplos a nivel nacional e internacional, aunque probablemente en Chile uno de los procesos más comunes es la aplicación de estos tratamientos con uno posterior de tipo biológico. Un ejemplo son las instalaciones de las plantas de aguas servidas mediante lodos activados, donde las etapas de pre tratamiento son las siguientes: desbaste, aireación, sedimentación, desinfección por cloración y decloración y espesado de lodos.

Otro ejemplo de aplicación para los riles son los tratamientos físicos con posterior tratamiento químico. Las etapas de este proceso son las siguientes: sedimentación primaria, elevación de aguas a tratar, coagulación y decantación con ajuste de pH. A nivel nacional, Aguas Sipra S.A. lleva a cabo múltiples proyectos de este tipo con acople de tratamientos primarios a otras tecnologías, como los lodos activados y la osmosis inversa.

ESTIMACIÓN COSTOS

Para la determinación de los costos de las tecnologías físicas, a continuación se describen las consideraciones en cuanto a costos para cada una de estas tecnologías:

Desbaste, tamiz y cribado

El costo de la instalación de la tecnología de un pre-tratamiento tipo desbaste, tamiz o cribado depende principalmente del tamaño de reja que se utilice, y por lo tanto, del caudal de diseño y de los restos sólidos que se deben separar. En cuanto a los costos de obra civil, en muchos casos esta se encuentra incluida en el costo general de las obras civiles para todo el diseño de toda la planta de tratamiento de aguas residuales.

Así mismo, en función del sistema de limpieza de las rejjas, si ésta se realiza de manera manual o automática influye en el costo de operación y mantenimiento.

En general las grandes instalaciones de tratamiento de aguas utilizan sistemas de limpieza automática, ya que aumenta la efectividad del tratamiento y reduce los costos de personal necesario para su ejecución. Sin embargo, el costo de mantenimiento del equipo automático es también elevado.

En relación a los costos asociados a la instalación de sistemas de pre tratamiento cabe mencionar que es difícil identificar el precio unitario de los mismos debido a que generalmente son tecnologías ya incluidas en la venta del equipo o tratamiento a instalar. En cuanto, a los costos de obra civil, estos dependen no solo del tipo de filtro a utilizar, sino también del diseño de ingeniería de todo sistema de abatimiento de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

A continuación se indican los costos de inversión, operación y mantenimiento consultados:

DESBASTE, TAMIZ, CRIBADO						
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)			Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$) **
<i>Cribado tipo cilíndrico 0,25 – 2,5 mm (sistema automático)</i>	<i>Caudal 1</i>	10	4.530	1.132	5.662	355
	<i>Caudal 2</i>	150*	23.000	5.750 (a)	28.750	1.800
	<i>Caudal 3</i>	1500	91.562	22.890	114.452	7.166
<i>Rejas finas de 15 mm-</i>	<i>Caudal 1</i>	10	189	1.388	1.577	173
	<i>Caudal 2</i>	800	2664	19.204	21.868	2.400
	<i>Caudal 3</i>	1500	3826	28.060	31.887	3.500
<i>Rejas finas, mayor de 50 mm</i>	<i>Caudal 1</i>	10	285	1.391	1.676	173
	<i>Caudal 2</i>	800	4036	19.204	23.240	2.400
	<i>Caudal 3</i>	1500	5761	28.126	33.887	3.500
<i>Tamiz rotativo</i>	<i>Caudal 1</i>	10	347	1.390	1.737	173
	<i>Caudal 2</i>	800	4875	19.204	24.079	2.400
	<i>Caudal 3</i>	1500	7.022	28.089	35.111	3.500
FUNCIONES DE COSTOS						
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$						
<i>Costos de inversión total</i>	Cribado cilíndrico		$y = 1.422,3x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10-1500 m ³ /h Costos de: 5.662 a 114.456 US\$		
	Rejas finas (15 mm)		$y = 396,24x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10-1500 m ³ /h Costos de: 1.577 a 31.887 US\$		
	Rejas finas (50 mm)		$y = 421,1x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10-1500 m ³ /h Costos de: 1.676 a 33.888 US\$		
	Tamiz Rotativo		$y = 436,3x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10-1500 m ³ /h Costos de: 1.737 a 35.111 US\$		
	Cribado cilíndrico		$y = 89,047x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 355 a 7.166 US\$/año		

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

Costos anuales de operación y mantenimiento	Rejas finas y tamiz rotativo	$y = 43,487x^{0,6}$	Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 173 a 3.500 US\$/año
DESGLOSE DE VARIABLES			
Consumo energético planta			
Datos específicos para el tipo de desbaste de con sistema de limpieza automática tipo cilíndrico entre 0,25 mm y 2,5 mm. Para rangos de 10 a 45 m ³ /h, el valor es de 0,25 kW de potencia (0,005 kWh/m ³ a 0,025 kWh/m ³) Para rangos de 52 a 800 m ³ /h el valor es de 0,55 kW de potencia.(0,01 kWh/m ³ a 0,0007 kWh/m ³) Para rangos de 420 1900 m ³ /h el valor es de 1,5 kW de potencia.(0,03 kWh/m ³ a 0,0008 kWh/m ³)			
Área ocupada por la instalación			
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)	
Separador parabólico de 15 m ³ /h de 0,5 mm		7,8	
Desbaste tipo cilíndrico – 10 -15 m ³ /h; 29 -116 m ³ /h; 198 a 800 m ³ /h.		0,41 m ² ; 1 m ² ; 3,3 m ² .	
Tamiz rotativo tipo rejilla	30 m ³ /h	0,6	
	60 m ³ /h	0,92	
	90 m ³ /h	1,2	
Personal calificado necesario para la planta			
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)	
1	Media	11.000	
Control y monitoreo			
La principal actividad de control y monitoreo consiste en la limpieza para evitar su obstrucción.			
Vida útil de los equipos			
20 años			

Costos calculados a partir del caudal 2 mediante factor de escala y exponente de Willians ($n = 0,6$)

En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo el mismo porcentaje respecto al costo total de inversión que se deduce a partir de los datos de caudal 2.

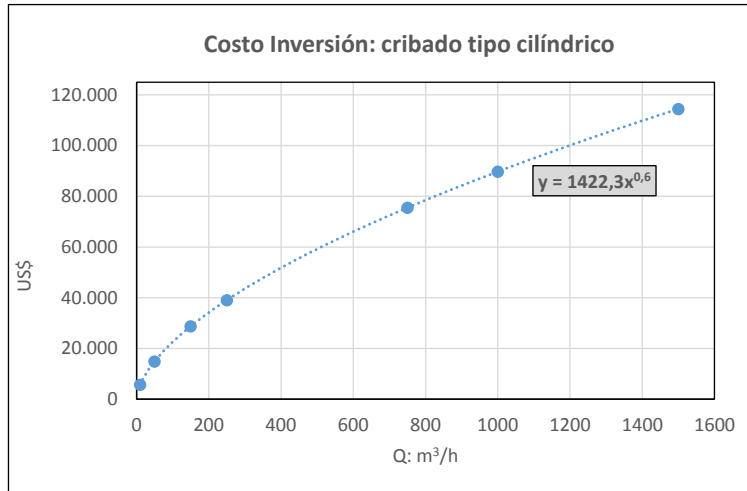
*Valores para una concentración de 200 mg/l de SST.

(a) Se ha estimado el costo de obra civil como el 20% del costo de inversión para la reja, de acuerdo al rango de valores publicado por la EPA, 1998, Ref.: 821-R-98-020.

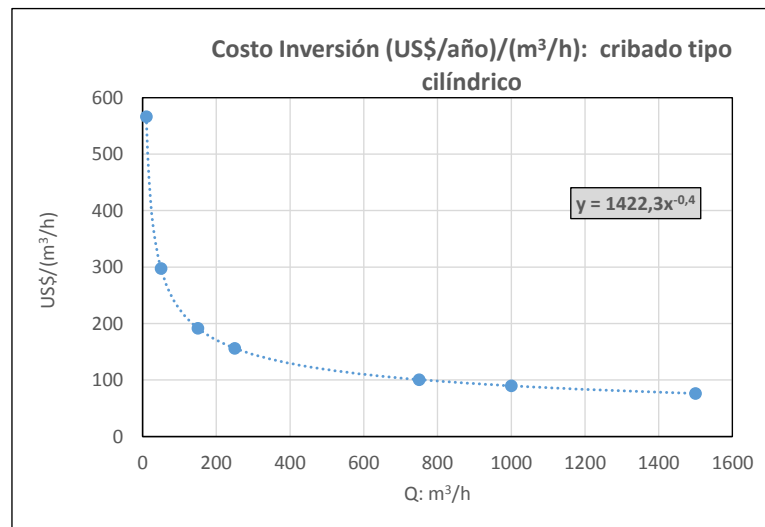
** Los costos de operación y mantención han sido estimados de acuerdo al factor de 0,034 US\$/m³ (Melgarejo, J., 2009) de agua tratada, para un funcionamiento de planta de 12 h/día y 16 h/día para caudales de 150 m³/h y 800 m³/h respectivamente.

- Representación de las funciones de costos de inversión:

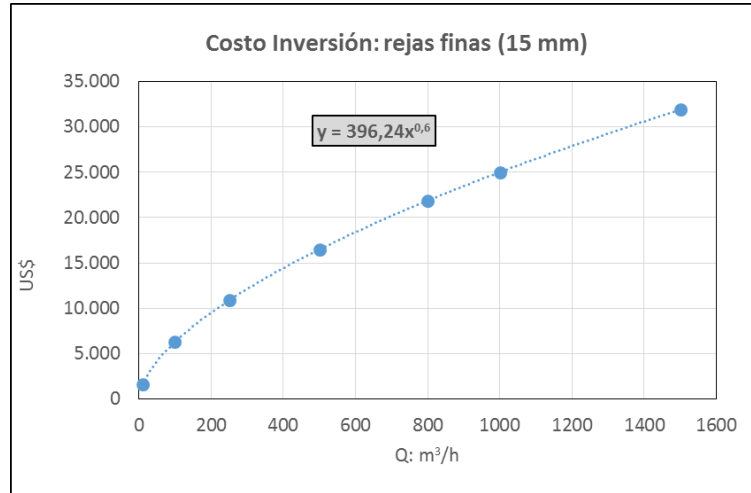
Relación de US\$ con el caudal de diseño del cribado tipo cilíndrico:



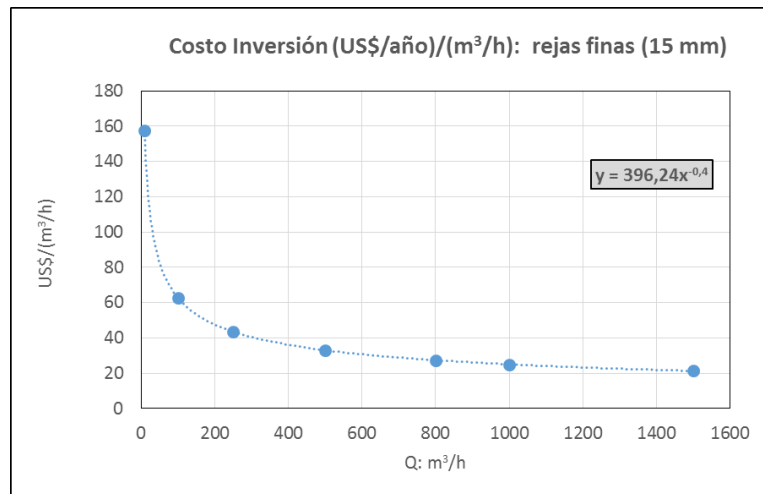
Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño del cribado tipo cilíndrico:



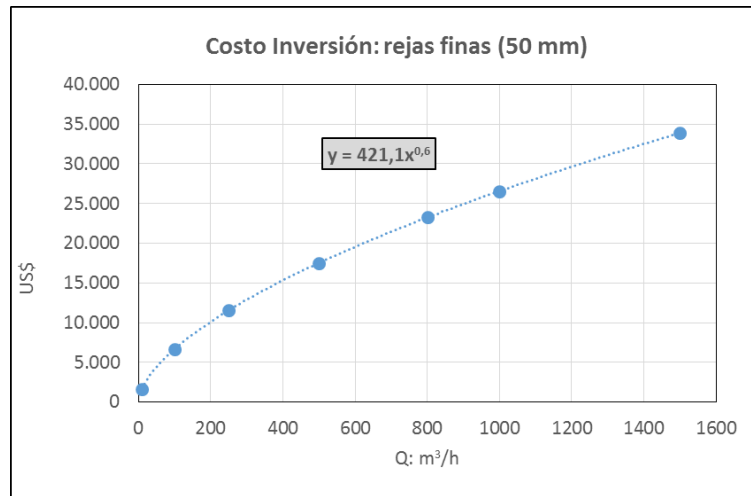
Relación de US\$ con el caudal de diseño de las rejillas finas (15 mm):



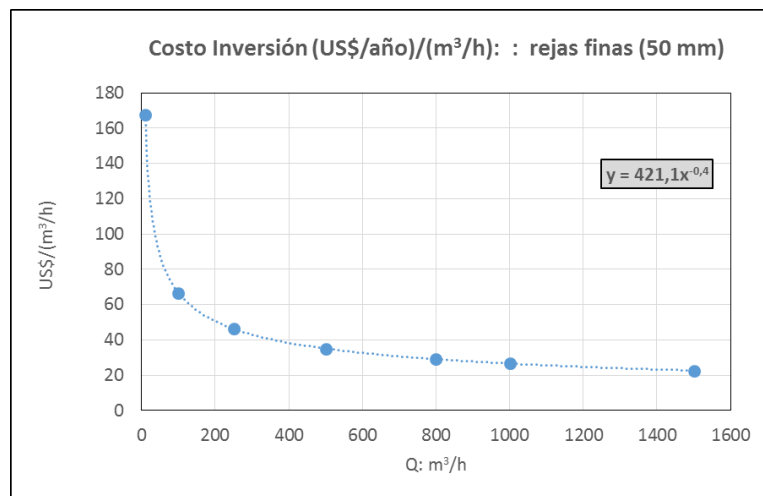
Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño de las rejillas finas (15 mm):



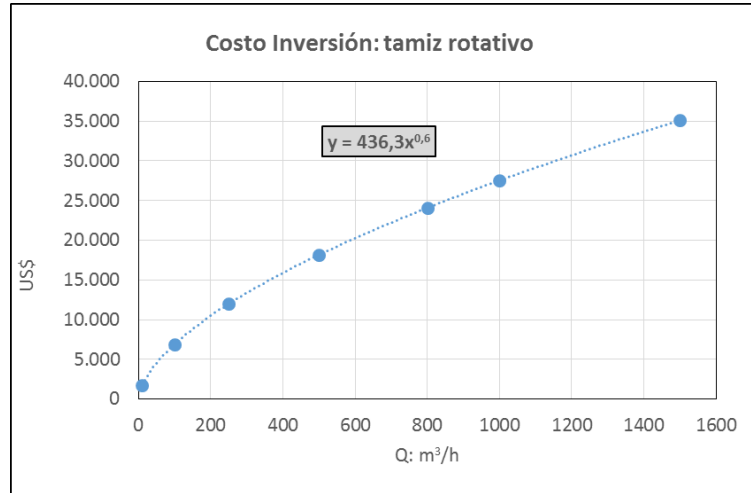
Relación de US\$ con el caudal de diseño de las rejillas finas (50 mm):



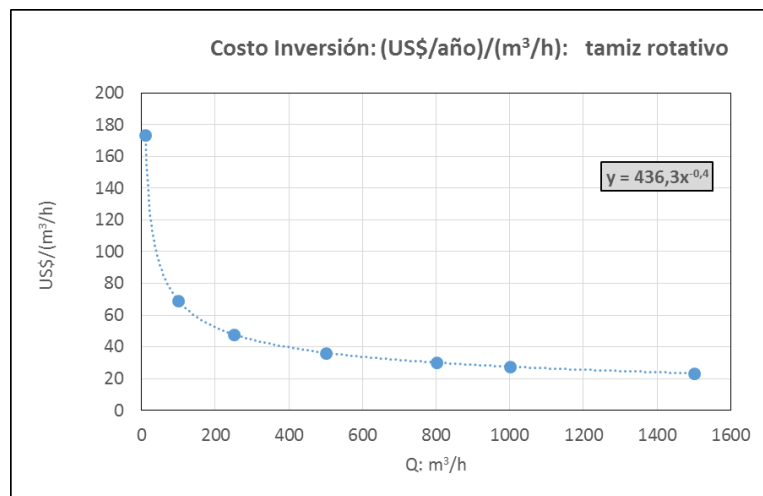
Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño de las rejillas finas (50 mm):



Relación de US\$ con el caudal de diseño del tamiz rotativo:

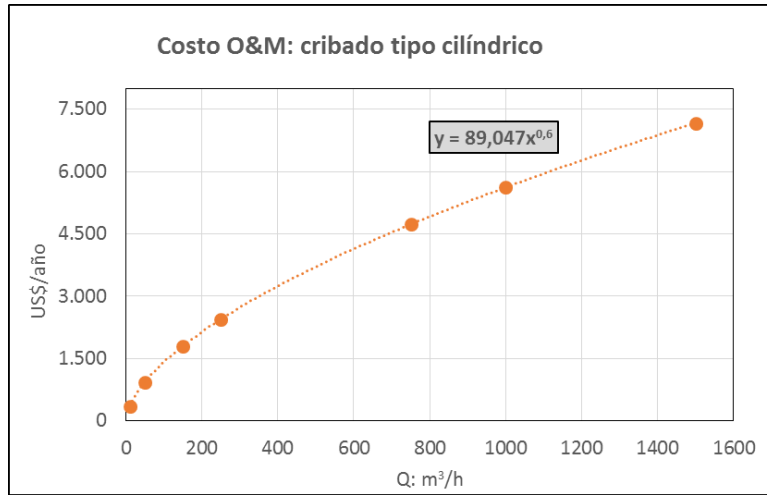


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño del tamiz rotativo

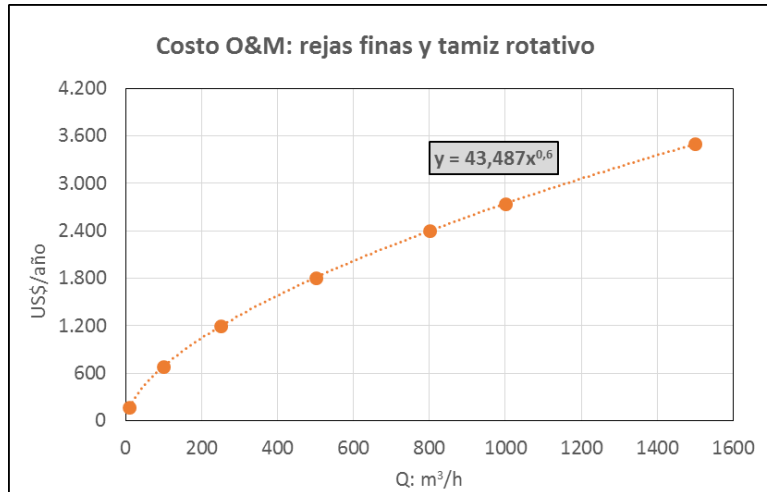


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

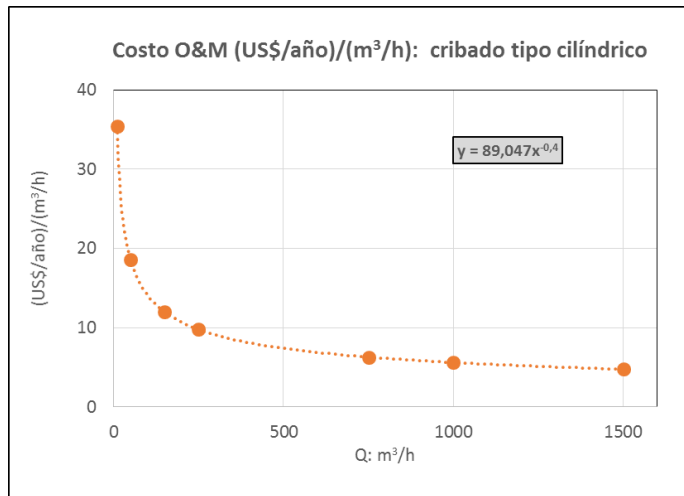
Relación de US\$ con el caudal de diseño del cribado tipo cilíndrico



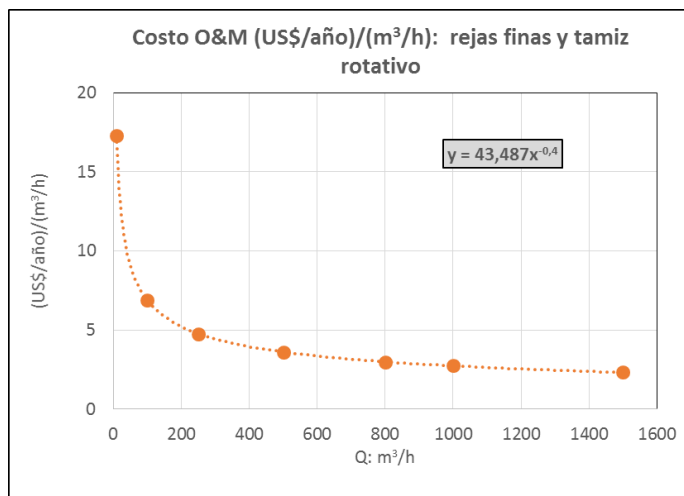
Relación de US\$ con el caudal de diseño de las rejillas finas y el tamiz rotativo:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño del cribado tipo cilíndrico:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño de las rejillas finas y tamiz rotativo:



Flotación:

La flotación es un equipo que puede obtenerse de manera compacta o unitaria, que mayoritariamente está formado por los siguientes equipos:

- Bomba de presurización.
- Equipos de inyección de aire.
- Tanque de retención.
- Tanque de flotación con separador mecánico.
- Equipo de regulación de presión.

Para la evaluación de costos en función del caudal de diseño se ha considerado la instalación de una planta de flotación por aire disuelto (DAF). A continuación se recogen en forma de tabla las estimaciones y datos reales de los costos asociados de inversión como de operación y mantenimiento.

FLOTACIÓN POR DAF*					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$)
<i>Caudal 1</i>	7	75.000	49.500	124.500	12.450
<i>Caudal 2</i>	10	19.729	13.021	32.750	4800
<i>Caudal 3</i>	30	32.882	21.702	54.584	4.800
<i>Caudal 4</i>	60	410.172	270.713	680.885	68.000
<i>Caudal 5</i>	100	343.734	226.864	570.598	80.094
<i>Caudal 6</i>	120	369.739	244.027	613.766	61.500
<i>Caudal 7</i>	325	573.467	378.489	951.956	95.000
<i>Caudal 8</i>	500	681.308	449.663	1.130.971	128.435
<i>Caudal 9</i>	1000	898.991	593.334	1.492.325	208.644
<i>Caudal 10</i>	1200	967.003	638.222	1.605.225	237.046
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total</i>	$y = 52.941x^{0,4924}$			Rango de aplicación: 7 a 1.200 m ³ /h Costos de: 138.012 a 1.737.725 US\$	
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>	$y = 4.629,6x^{0,5495}$			Rango de aplicación: 7 a 1.200 m ³ /h Costos de: 13.487 a 227.800 US\$/año	
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					

Aditivo (Las dosis de los aditivos están relacionados con la carga)	Dosis recomendada (gr/m ³)	Costo (US \$)
Coagulante	150 -750	0,6 a 0,75 US\$/kg
Floculante	10 a 50	0,64 a 0,93 US\$/kg
Consumo energético planta		
La potencia para una planta de 7 m ³ /h es de 0,466 a 0,1 (KWh/m ³) El consumo energético es de 2.200 kWh/año en una planta de 10-20 m ³ /h. Asumiendo que la planta trabaja durante 8.000 horas/año, el consumo energético es de 0,014 kWh/m ³ .		
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
1,3	9,8	
7	20	
325	120	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1 persona 4 h/días hasta 5 m ³ /h;	Técnico medio - operario	5.500
1 persona 8 h/día para más de 5 m ³ /h	Técnico medio operario	11.000
Condiciones de operación y mantenimiento		
Cada unidad de DAF tendrá que seguir las especificaciones de control y mantenimiento de cada proveedor, pero de manera generalizada se debe realizar semanalmente una purga y limpieza para prevenir la formación de barro/lodo. Periódicamente se debe revisar la presión de presurización, la alimentación del aire, velocidad de desnatado y los flujos de alimentación. Se debe verificar el pH, y limpiar semanalmente los medidores de pH. **		
Vida útil de los equipos		
20		

Costos calculados a partir del caudal 6 y 7 mediante factor de escala y exponente de Willians ($n = 0,4$ para costos de inversión) y con el caudal 1 y 7 para los costos de operación y mantenimiento ($n = 0,7$)

Costos descartados para la elaboración de las ecuaciones teóricas

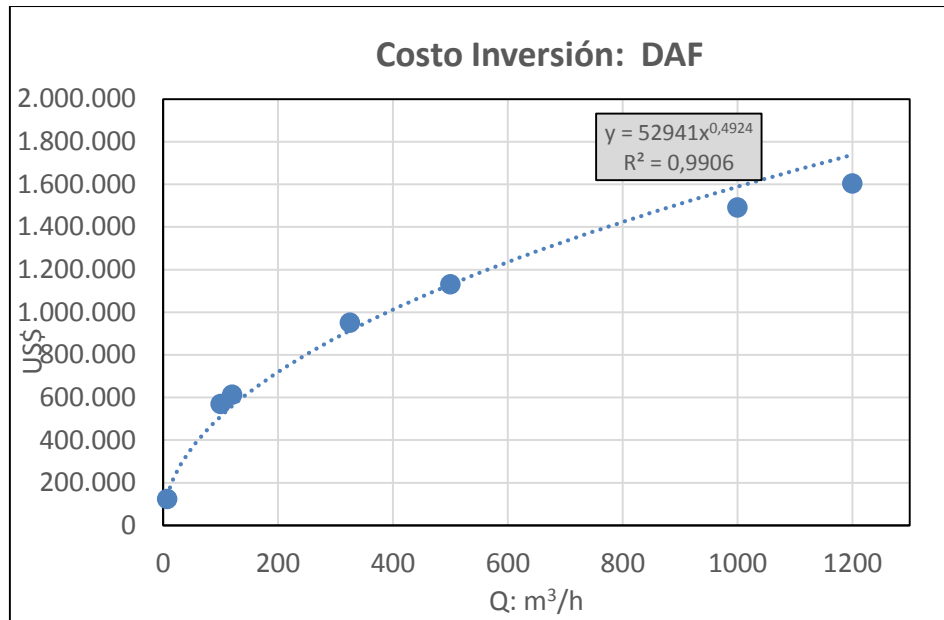
En el caso de los costos de operación y mantención su valor se ha calculado asumiendo un 10% y en el de equipos y obra civil según los porcentajes del caudal 1. (Costos de obra civil son el 66% de los equipos)

*Se han incluido datos de diferentes plantas con tratamientos similares, aunque de diferentes rubros: elaboradora de harinas y pescados y lácteo.

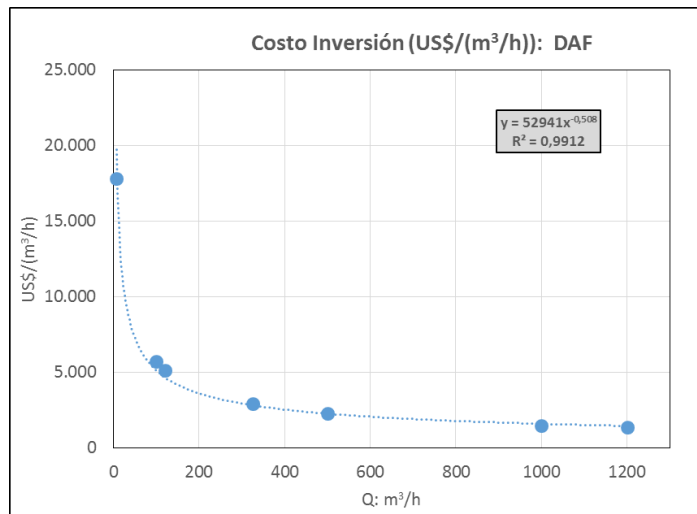
**www.sawater.com.au

- Representación de las funciones de costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

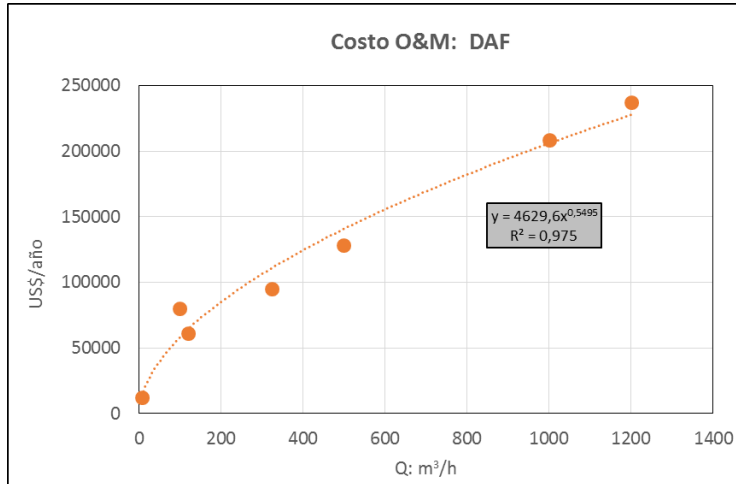


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

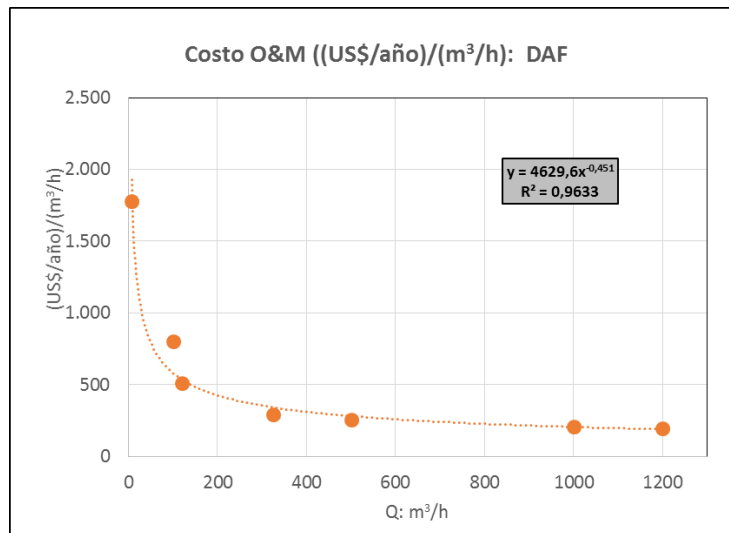


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:



Filtración:

En cuanto a los equipos de filtración, existe una amplia variedad de filtros, en función de las características del medio granular, si es compuesto por un solo medio (arena o antracita) o bien por una mezcla de diferentes medios o multicapas.

El costo de la tecnología de filtración está dominado por los costos de la instalación y obras de los equipos. En cuanto al consumo energético, este varía si se trata de filtración por gravedad o bien si se aplica presión para favorecer el proceso de filtración.

En cuanto a su mantención, las celdas de los filtros se deben limpiar periódicamente para garantizar su eficiencia.

FILTRACIÓN MULTIMEDIA					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$)
<i>Caudal 1</i>	8	10.180	46.375	56.555	8.483
<i>Caudal 2</i>	10,5	12.748	58.074	70.822	10.623
<i>Caudal 3</i>	13,3	15.040	68.516	83.556	12.533
<i>Caudal 4</i>	16,4	17.287	78.752	96.039	14.406
<i>Caudal 5</i>	23,6	22.601	102.960	125.561	18.834
<i>Caudal 6</i>	32,1	27.650	125.961	153.611	23.042
<i>Caudal 7</i>	35	74.000	337.111	411.111	61.667
<i>Caudal 8</i>	45,5	40.031	182.363	222.394	33.359
<i>Caudal 9</i>	65,5	52.503	239.180	291.683	43.752
<i>Caudal 10</i>	100	69.124	314.896	384.020	57.603
<i>Caudal 11</i>	500	196.769	896.394	1.093.163	163.974
<i>Caudal 12</i>	1000	308.764	1.406.592	1.715.356	257.303
<i>Caudal 13</i>	1200	347.612	1.583.565	1.931.177	289.677
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total</i>	$y = -0,7236x^2 + 2367,8x + 105.718$			Rango de aplicación: 8 a 1.200 m ³ /h Costos de: 124.614 a 1.905.094 US\$	
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>	$y = -0,1085x^2 + 355,17x + 15.858$			Rango de aplicación: 8 a 1.200 m ³ /h Costos de: 18.692 a 285.822 US\$/año	
DESGLOSE DE VARIABLES					
Consumo energético planta					

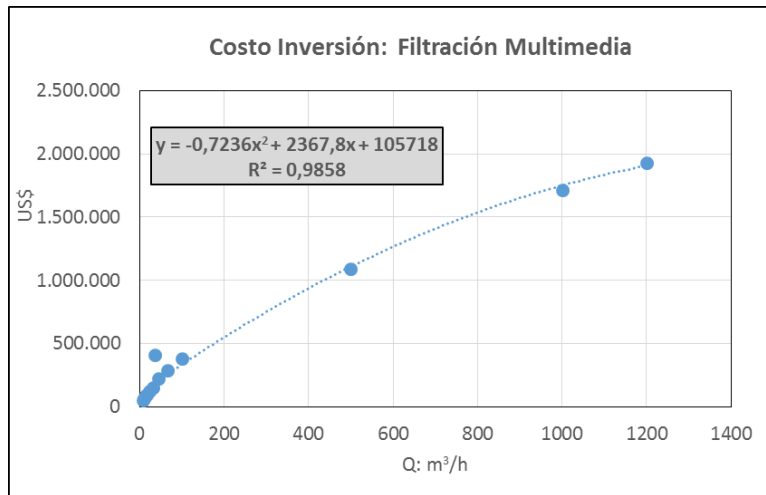
El consumo energético depende del tipo de filtro seleccionado. El consumo medio de una planta es de 1,9 kWh/m ³		
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
18,6	4	
106	13	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1 persona 4 h/día	Técnico medio-operario	5.500
Condiciones de operación y mantenimiento		
Limpieza de filtros de forma periódica, para mantener la eficiencia de los filtros.		
Vida útil de los equipos		
20		

Costos calculados a partir del caudal 9 mediante factor de escala y exponente de Willians ($n = 0,65$)

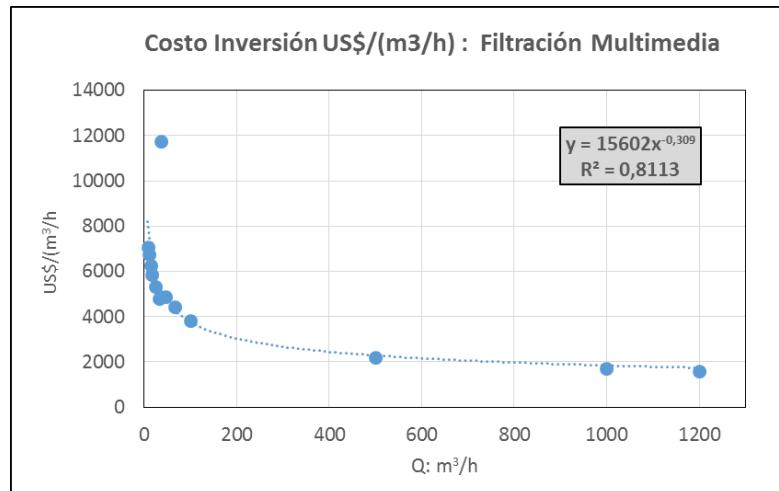
En el caso de los costos de operación y mantención su valor se ha calculado asumiendo el mismo porcentaje medio de los sistemas de tratamiento físicos-primarios (15%). Para los costos de equipos y obra civil se ha considerado que los costos de obra civil son el 82% sobre el costo de inversión, de acuerdo a Sharma, J.R., 2010

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

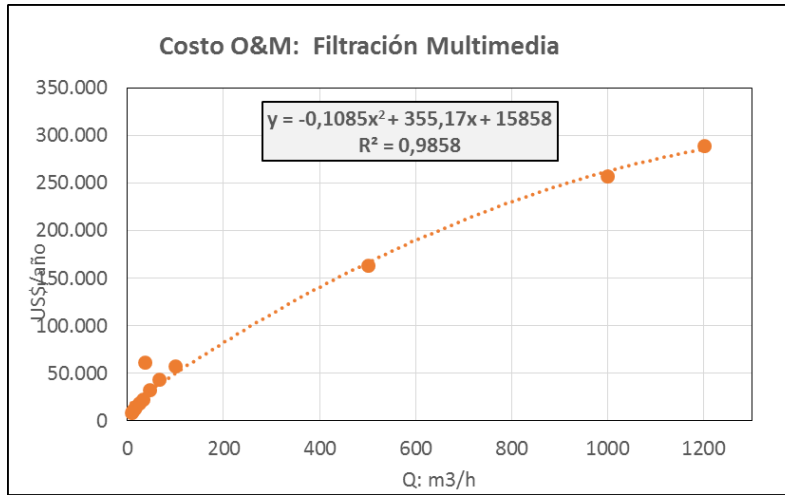


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

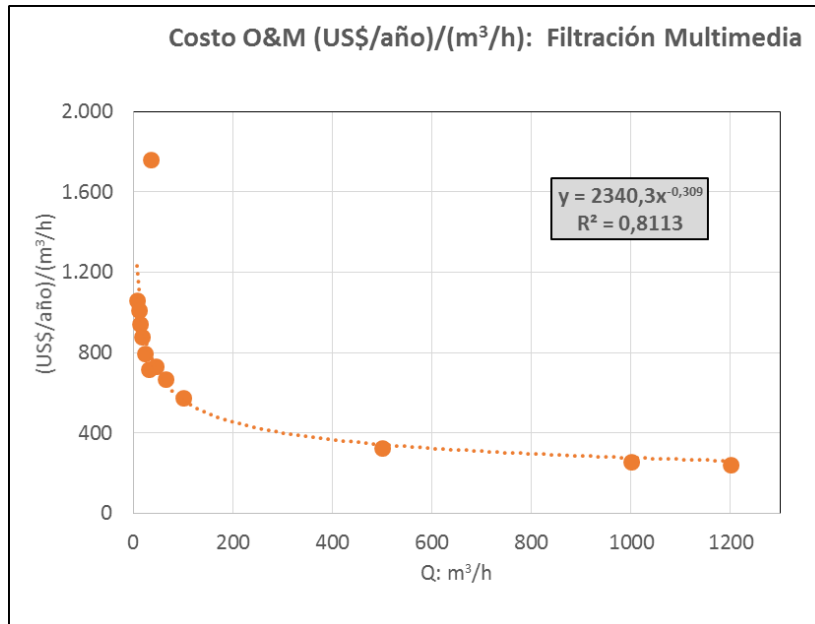


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:



Sedimentación

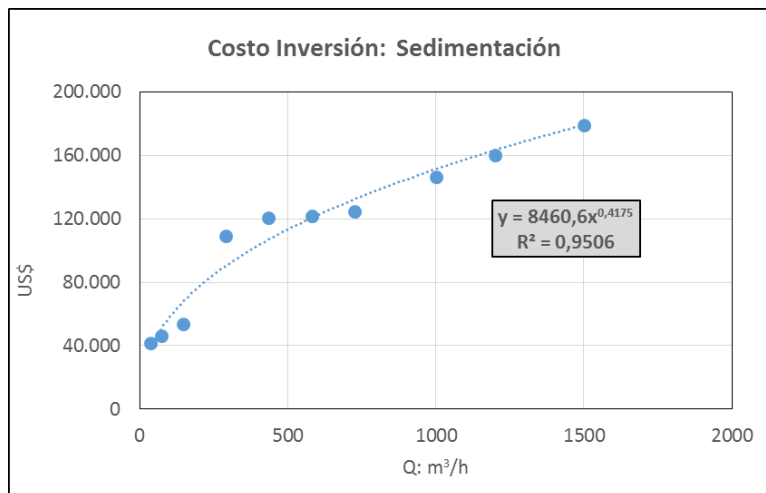
SEDIMENTACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$)
<i>Caudal 1</i>	36	19.677	22.188	41.865	6.280
<i>Caudal 2</i>	73	21.839	24.627	46.466	6.970
<i>Caudal 3</i>	80	110.450	124.550	235.000	35.250
<i>Caudal 4</i>	145	25.299	28.528	53.827	8.074
<i>Caudal 5</i>	160	250.000	n.d.	n.d.	n.d.
<i>Caudal 6</i>	290	51.462	58.031	109.493	16.424
<i>Caudal 7</i>	435	56.651	63.884	120.535	18.080
<i>Caudal 8</i>	580	57.300	64.615	121.915	18.287
<i>Caudal 9</i>	725	58.597	66.078	124.675	18.701
<i>Caudal 10</i>	1000	68.819	77.604	146.423	21.964
<i>Caudal 11</i>	1200	75.388	85.011	160.399	24.060
<i>Caudal 12</i>	1500	84.286	95.045	179.331	26.900
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total</i>	$y = 8.460,6x^{0,4175}$		Rango de aplicación: 36 a 1.500 m ³ /h Costos de: 37.771 a 179.234 US\$		
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>	$y = 1.269,1x^{0,4175}$		Rango de aplicación: Rango de aplicación: 36 a 1.500 m ³ /h Costos de: 5.666 a 26.885 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Dosis recomendada (mg/l)	Costo (US \$)			
Coagulante	80 – 150	0,6 a 0,75 US\$/kg			
Floculante	2 – 4	0,64 a 0,93 US\$/kg			
Ajuste pH	50 – 100 gr/m ³	0,75 a 1 US\$/kg			
Consumo energético planta					
n.d.					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)		

18	8,7	
36	17,4	
73	34,8	
97	46,4	
145	69,6	
193	92,8	
242	116	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1 persona – media jornada	Medio-operario	5.500
Condiciones de operación y mantención		
La sedimentación requiere de un tanque que se encuentre totalmente limpio de sólidos flotantes, que deben ser extraídos en su totalidad. Además las paredes externas de los tanques deben mantenerse limpias realizando frecuentes limpiezas periódicas.		
Vida útil de los equipos		
20		

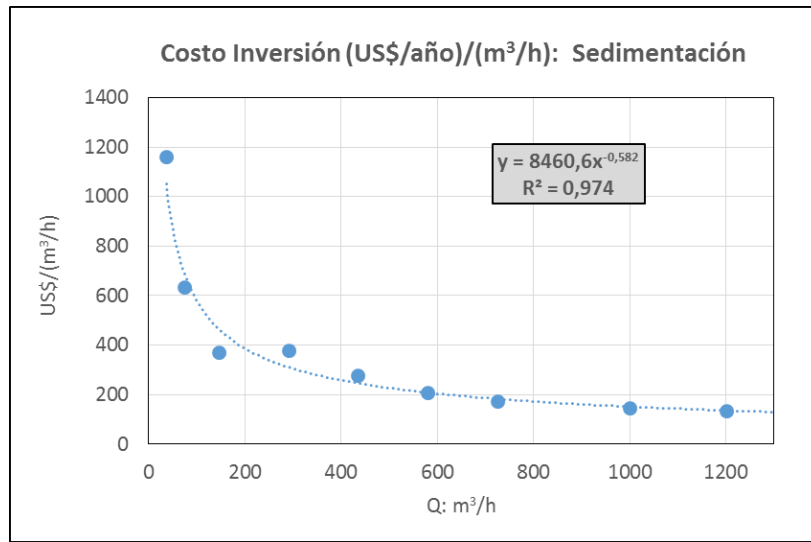
- Costos calculados a partir del caudal 9 mediante factor de escala y exponente de Willians ($n = 0,5$)
- Costos descartados para la elaboración de las ecuaciones teóricas
- En el caso de los costos de operación y mantención su valor se ha calculado asumiendo el mismo porcentaje medio de los sistemas de tratamiento físicos-primarios (15%). Para los costos de equipos y obra civil se ha considerado que los costos de equipos son el 47% sobre el costo de inversión, de acuerdo a Sharma, J.R., 2010

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

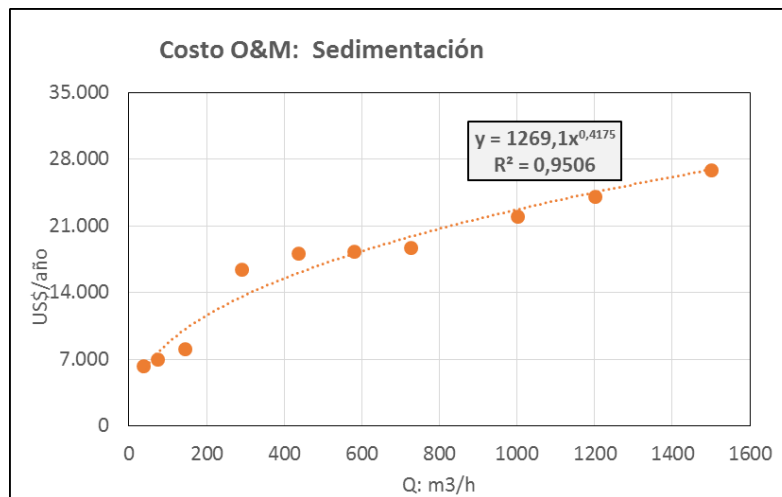


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

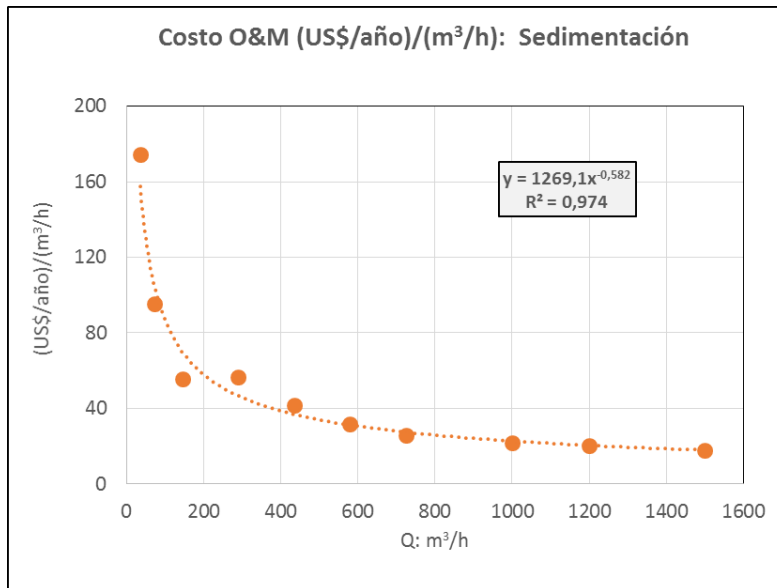


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arana Ysa Vladimir, 2010. Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales. Foro Ciudades para la vida, primera edición, Perú.
2. Organización Panamericana de la Salud, 2005. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. OPS/CEPIS/05.158.
3. Collazos, C.J., 2008. Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Universidad de Colombia, Facultad de Ingeniería, Cátedra Internacional.
4. EPA, 1974. Wastewater Filtration Design considerations. EPA Technology Transfer Seminar Publication.
5. Escobar Hernández Oswaldo, 2011. Planta de tratamiento de aguas residuales de Minatitlán, Veracruz, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería.
6. Flotación por aire disuelto, Aquamarket.
<http://www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp?producto=629>
7. Ing. Max Lotear Hess. Espesamiento de Lodos: A gravedad y por flotación. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y Defensa del Medio Ambiente. Sao Paulo, Brasil.
8. José Antonio Cerezo Castro, 2011. Estación depuradora de aguas residuales, Universitat Politècnica de Catalunya, Dep. Ingeniería Química.
9. Muñoz Cruz Amilcar, 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Universidad del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básico e Ingeniería, México.
10. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
11. Rossi Luna Maria Grazia, 2010. Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú, Fondo Nacional del Ambiente de Perú - FONAM.
12. Solar Fornazzari José Alejandro. Estudio fenomenológico de la recuperación de un residuo industrial líquido minero ácido. Universidad De Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE COSTOS

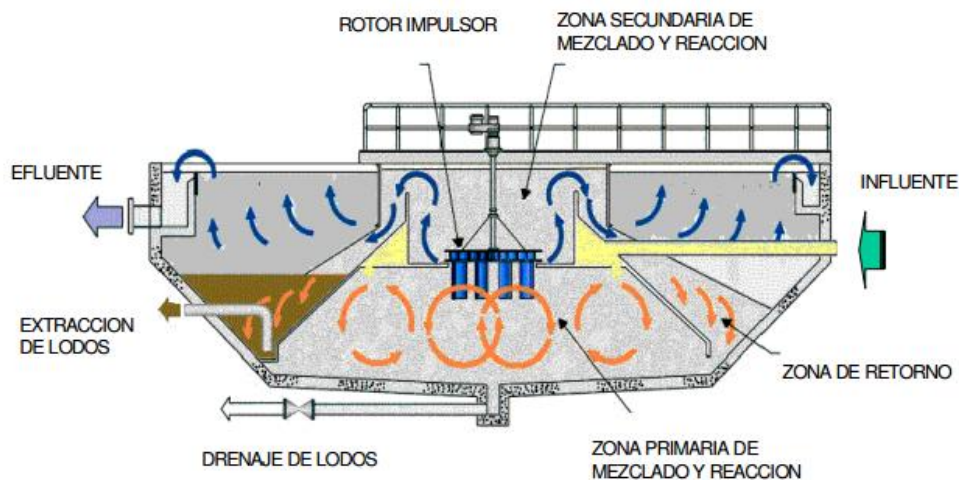
1. Carrasco, A. C., 2007. Tratamiento físico-químico de aguas residuales. Memoria para optar a al título de ingeniero civil.
2. Catálogo tamices rotativos Defender, Toro Wastewater Equipment.
3. CONAMA, 2010. Estimación de Costos de Abatimiento en Residuos Líquidos.
4. EPA, 1998. Development document for proposed effluent limitations guidelines and standards for the Centralized Waste treatment Industry. Volume II. Office of water, Ref.: 821-R-98-020.
5. Fuentes Santos, A., 2012. Diseño y cálculo de la obra de llegada y pre tratamiento de una EDARU, Bachelor Thesis.

6. Melgarejo, 2009. Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *CI Economía* 15, pp. 245-270, Estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos.
7. SEA, 2005. ANEXO, E de la planta elaboradora de harina y aceite de pescado, Carmar, Ltda.
8. SEA, 2006. DIA del sistema de mejoramiento de tratamientos RILES, instalación de una planta DAF.
9. SEA, Planta de tratamiento de RILES de Prolesur, S.A.
10. Sharma, R.J., 2007. Development of a preliminary cost estimation method for water treatment plants. Master thesis of science in engineering. The University of Texas at Arlington.
11. Superintendencia de Servicios Sanitarios, (sin año). Estudio de determinación de tarifas 2013-2018, Aguas Altiplano, S.A. Tomo I, Informe final.

TECNOLOGÍA DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA

- Descripción de la tecnología:** La precipitación química permite extraer y concentrar los compuestos inorgánicos de los efluentes líquidos con carga baja de contaminante. El sólido precipitado puede someterse a un tratamiento posterior. Esta técnica permite precipitar los metales pesados presentes en el efluente a base de añadir compuestos químicos que alteren las condiciones y parámetros químicos del medio, como por ejemplo, el pH.

Este proceso se efectúa en un reactor que permite el contacto de reactivos químicos en concentraciones muy variadas y en un amplio espectro de pH. En la práctica actual, la precipitación química se emplea como medio para mejorar el rendimiento de las instalaciones de tratamiento, como un paso físico-químico básico, mediante el cual se pueden eliminar diversos parámetros contaminantes.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Color, mercurio, arsénico, cadmio.
Normas de emisión:	DBO, poder espumógeno, aceites y grasas, mercurio, arsénico, selenio, fluoruro, nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$), zinc, manganeso, hierro, cadmio, cobre, plomo.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO, color, aceites y grasas, mercurio, arsénico, fosfato, selenio, fluoruro, zinc, manganeso, hierro, cadmio, cobre, plomo.
Parámetros normados:	no Fósforo, turbidez, DQO, E. Coli, nitrógeno orgánico, plata, alcalinidad, cromo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	Estas reacciones se producen normalmente de un modo instantáneo, sin otro tiempo que el de la mezcla de los reactivos con el agua.
Pre-tratamiento:	Ciertos ligandos orgánicos e inorgánicos contenidos en el agua pueden interrumpir o inhibir la reacción de precipitación. Las concentraciones elevadas de sales neutras incrementan la solubilidad residual de los metales. Si los requerimientos relativos a las concentraciones de metales residuales no se cumplen, serán necesarias etapas de tratamiento adicionales, como la precipitación adicional con sulfuro, filtración, intercambio iónico, etc.
Temperatura:	Temperatura ambiente.
Selectividad:	No es selectivo
Tipo de operación:	Continuo y discontinuo.

- Eficiencia de remoción**

	SST (%)	DBO5 (%)	E. Coli (%)	Fosfatos (%)
Mínimo	65	75	80	90
Promedio	78	82,5	85	92,5
Máximo	91	90	90	95
	Fosforo (%)	Turbidez (%)	Selenio (%)	Fluoruros (%)
Mínimo	71	67	70	44
Promedio	83,5	77,5	70	47
Máximo	96	88	70	50
	DQO (%)	Color (%)	N Orgánico (%)	N-NH ₄ (%)
Mínimo	52	46	50	14
Promedio	66,5	59,5	55	18
Máximo	81	73	60	22
	Zinc (%)	Plata (%)	Manganeso (%)	Hierro (%)
Mínimo	49	16	89	30
Promedio	69,5	42,5	90	51
Máximo	90	69	91	72
	Arsénico (%)	Alcalinidad (%)	Grasas y aceites (%)	Cadmio (%)
Mínimo	49	16	89	30
Promedio	69,5	42,5	90	51
Máximo	90	69	91	72
	Cromo (%)	Cobre (%)	Plomo (%)	Mercurio (%)
Mínimo	56	55	44	18
Promedio	71,5	73	68,5	21
Máximo	87	91	93	24

Eficiencia remoción no determinada: poder espumógeno.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** La capacidad de tratamiento de esta tecnología depende del caudal de diseño. No obstante, una gran parte de estas plantas trata entre 75-250 l/min de agua residual.
- **Caudal de efluente a generar:** 75 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** Cada contaminante requerirá diferentes reactivos que le permitan formar compuestos insolubles y precipitar. En el caso de fósforo, los agentes de precipitación más empleados son:
 - Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, en forma líquida o sólida, la dosis oscila entre 10 a 150 g/m³ de agua.
 - Cloruro férrico ($FeCl_3$)
 - Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$ o $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$
 - Cal o hidróxido sódico $Ca(OH)_2$ 120 l/m³ agua residual
 - Ácido hidroclicórico o sulfúrico (NaOH) 10 l/m³ agua residual
 - Sulfuro sódico 0,3 Kg/m³ agua residual
- **Consumo de energía:** No se requiere.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes:
 - La precipitación es poco efectiva cuando el metal se encuentra en concentración muy baja ya que se necesita un exceso de agente precipitante para llegar a formar un precipitado y en muchos casos, la partícula sólida formada no tiene estabilidad suficiente para separarse de la disolución.
 - La presencia de agentes orgánicos disminuye la eficiencia de remoción.
 - Se generan un elevado volumen de lodos que posteriormente deben gestionarse.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos? Sí,** para riego de áreas recreativas.
- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, los cuales pueden utilizarse posteriormente como abono o tratamiento posterior para la recuperación de metano y aprovechamiento energético.
Emisiones	CO ₂

- **Vida media de la tecnología:** en función del mantenimiento del reactor.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Explotación de minas y canteras.	pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ , DQO, DBO, MES, sales inorgánicas, nitrógeno amoniacal, Cl ₂ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , fenoles, Fe, Mn, Hg, Cd, CN ⁻ , sólidos suspendidos totales, cloruros, sulfatos, nitratos, metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn).
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX, pesticidas organoclorados y organofosfatos.
Ganadería (cría de animales)	DBO ₅ , N _T , P _T , Cu, Zn y TOC (Carbono orgánico Total)
Industria curtidos y textil	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, N_T, Cr_T, S²⁻ , Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl ⁻ , P _T , As, AOX.
Industria fabricación de metales y productos elaborados de metal	SS, Aceite, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Sn, Cu, Pb, As, Ni, Cd, Zn , N _T , P _T , CN ⁻ , Fenoles, PAH, Hg, AOX, TOC, Cl ⁻ , CN ⁻ , F.

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	O&G Soluciones medioambientales	http://www.equiposyservicios.cl/
	Aguas Sipra S.A.	http://www.aguassipra.cl
	Bioagua Tratamiento de aguas.	http://www.bioaguachile.cl/2008/05/02/tratamientos-de-riles/
Extranjero	Aguas Latinas de México (México, Panamá)	http://www.aguaslatinas.com/
	CEASA - Compañía Europea del agua, S.A.	http://www.ceasaespana.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se usa actualmente en Chile. Generalmente va acoplada a otro tipo de tratamientos físico o biológico.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

El drenaje ácido de las minas es uno de los más importantes y severos problemas ambientales enfrentados por la minería así como uno de los mayores problemas ambientales en la industria minera de Brasil. La precipitación química es una de las técnicas utilizadas para resolver este problema.



Figura 1: DAM de mina de carbón abandonada-Criciúma-Brasil.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Los procesos de precipitación suelen llevar acoplado un proceso de decantación con objeto de eliminar la materia en suspensión que pueda llevar el agua residual. En algunos ocasiones y en función del uso posterior del efluente de salida, se hace necesario utilizar procesos terciarios para completar el tratamiento. Estos procesos son muy específicos y eliminan, en muchos casos, la totalidad de compuestos químicos residuales que no alcanzan a ser eliminados por procesos primarios o secundarios. Los procesos terciarios más comunes son la adsorción, el intercambio iónico, la ultrafiltración y la ósmosis inversa.

Si se trata de procesos de oxidación y oxidación avanzada, se presentan dos ejemplos donde la precipitación química forma parte del proceso. El primero es el proceso Ciba–Geigy, en el cual se utiliza aire como oxidante y como catalizador homogéneo una sal de cobre, que se separa posteriormente como sulfuro de cobre mediante precipitación. Opera a temperatura elevada, en torno a 300°C y consigue eficacias de eliminación de hasta el 99% en aguas con contaminantes muy refractarios a la oxidación, aunque no consigue eliminar totalmente el amoníaco. Existen varias unidades en operación en las plantas de la compañía en Alemania y Suiza.

El segundo ejemplo corresponde al proceso de oxidación avanzada (WPO) derivado del método Fenton desarrollado por IDE y el INSA (Francia). Este proceso utiliza como oxidante peróxido de hidrógeno y como catalizador Fe^{2+} en un medio ácido. Opera en un rango de temperatura de 90 a 130°C y 1-5 bar con eficacias de oxidación superiores al 95%. El catalizador se recupera mediante precipitación química elevando el pH. Existen varias unidades de demostración en Francia y España.

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Los costos asociados a la precipitación química se deben principalmente al tipo de compuesto químico a eliminar, y por lo tanto a los insumos químicos que se necesitan para llevar a cabo el proceso.

Para la determinación de los costos de operación y mantención se considera el mismo porcentaje sobre los costos de inversión que la tecnología de neutralización debido a que ambas tecnologías usan similares tecnologías y equipos.

PRECIPITACIÓN QUÍMICA					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento/año (US \$)
Caudal 1	10	4.837	55.624	60.461	5.200
Caudal 2	250	16.108	185.237	201.345	13.400
Caudal 3	500	26.660	306.593	333.253	16.500
Caudal 4	750	34.003	391.036	425.039	38.254
Caudal 5	1.000	40.409	464.708	505.117	45.461
Caudal 6	1.200	45.081	518.428	563.509	50.716
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -0,1729 x^2 + 627,47x + 55.683$		Rango de aplicación: 10 a 1.200 m ³ /h Costos de: 61.940 a 559.671US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 0,004 x^2 + 36,087x + 3719,8$		Rango de aplicación: 10 a 1.200 m ³ /h Costos de: 4.081 a 52.784 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Dosis recomendada		Costo (US \$)		
Sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃ , de agua.	10 a 150 g/m ³		n.d.		
Cloruro férrico (FeCl ₃)	n.d.		n.d.		
Sulfato férrico Fe ₂ (SO ₄) ₃ o Fe ₂ (SO ₄) ₃ .3H ₂ O	n.d.		n.d.		
Cal o hidróxido sódico Ca(OH) ₂	120 l/m ³		n.d.		
Ácido hidroclicórico o sulfúrico (NaOH)	10 l/m ³		n.d.		
Sulfuro sódico agua residual	0,3 Kg/m ³		n.d.		
Sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃	10 a 150 g/m ³		n.d.		
Consumo energético planta					
n.d.					

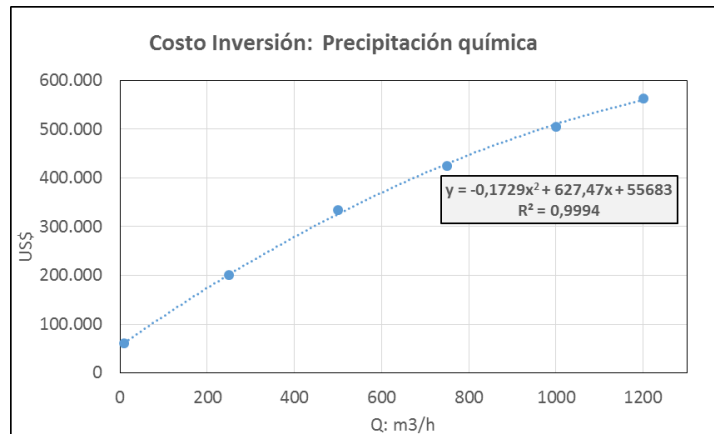
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
Altura del tanque H: 5 m	10	4
<u>Factor de ocupación:</u>	250	100
Área/Caudal : 0,4 m ² h/m ³	500	200
Altura del tanque H: 4 m	10	3
<u>Factor de ocupación:</u>	250	63
Área/Caudal : 0,1 m ² h/m ³	500	125
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1 persona	Técnico medio – operario	11.000
Condiciones de operación y mantención		
La precipitación química es una tecnología bien conocida y que puede operar de manera automática, sin tener un elevado costo de mantención. Para obtener el mayor rendimiento del proceso, se deben realizar pruebas analíticas (jar tests) periódicamente para verificar las dosis de los reactivos.		
Vida útil de los equipos		
20 años		

Costos calculados a partir del caudal 3 mediante factor de escala y exponente de Willians (n = 0,6)

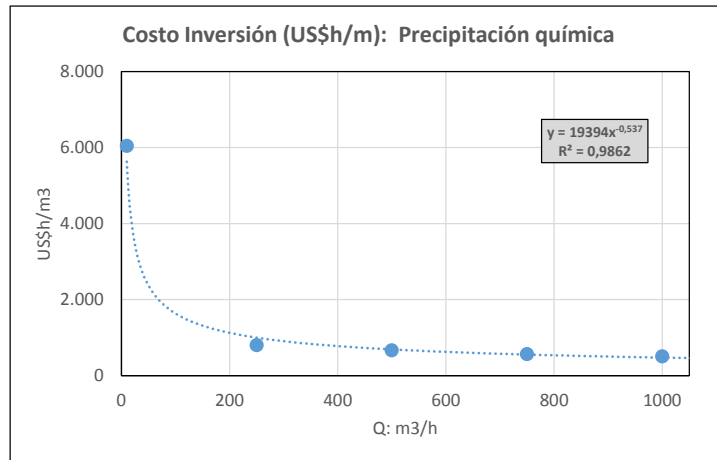
Los costos de equipos y obra civil considerando la misma relación de porcentajes sobre el costo de inversión que la tecnología de neutralización (9%).

- Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

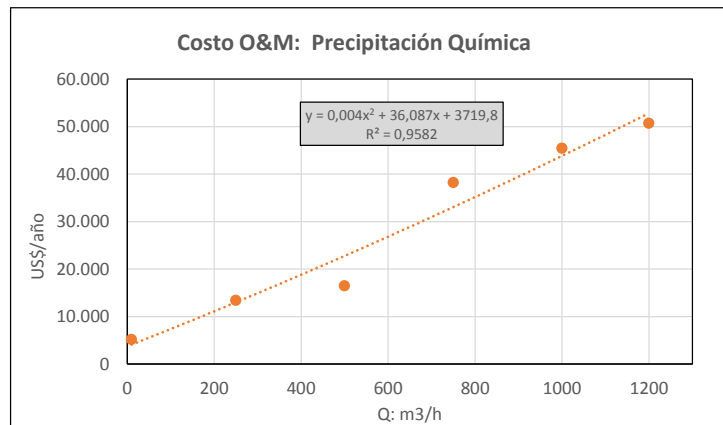


Relación de US\$/m³ con el caudal de diseño:

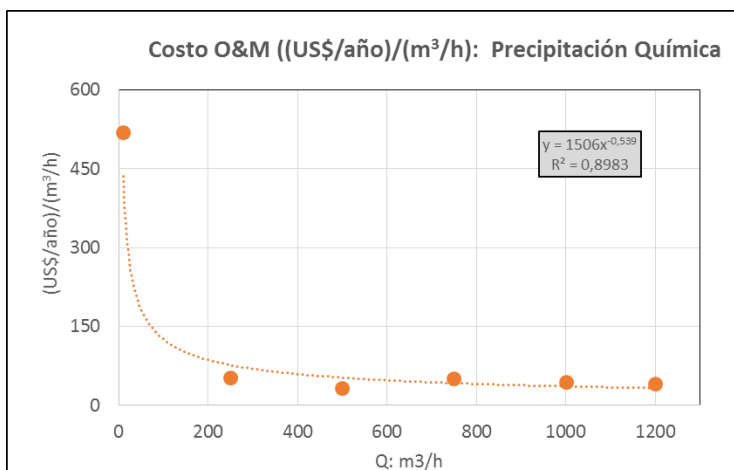


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$/año con el caudal de diseño:



Relación de US\$/m³ año con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

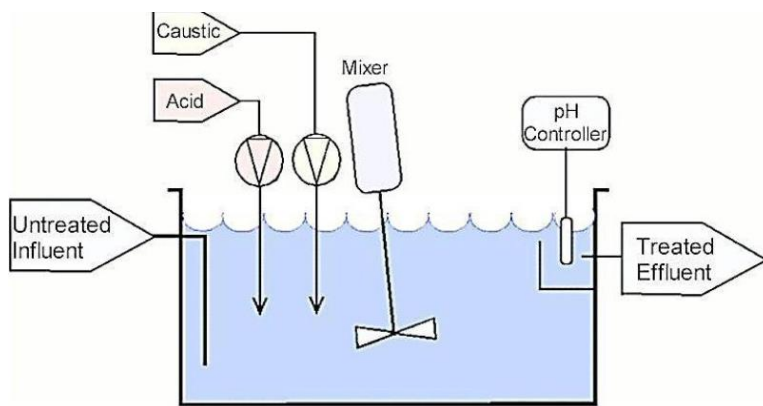
1. B. M. Ribeiro, T.S. Paim, S.D.F. Rocha, 2008. Utilización de hidróxido de magnesio en la precipitación de metales pesados. Revista de la facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Vol. 22, pp. 26-32.
2. Benefield, L.D Morgan, J.M. University of Alabama, 2002. Chapter 10, Chemical precipitation.
3. Cadorin Luciana, Tabosa Érico, Paiva Meise y Rubio Jorge. Tratamiento de riles mineros ácidos por precipitación química y flotación por aire disuelto. Departamento de Ingeniería de Minas, Pórtó Alegre, Brasil.
4. EUSTI, Escuela Universitaria de Ingeniería técnica industrial. Tratamiento de residuos. Tema 4: Tratamientos físico-químicos.
5. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2004. «Dutch fact sheets for the waste treatment industries», Directorate for Chemicals, Waste, Radiation protection. Department of hazardous waste, VROM.
6. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

REFERENCIAS COSTOS

1. EPA, 1998. Development Document for Proposed Effluents Limitations Guidelines and Standards for the Centralized Waste Treatment Industry. Volume I, Office of Water, EPA 821-R-98-020.
2. EPA, 2000. Wastewater Technology Fact Sheet. Chemical Precipitation. EPA 832 -F -00-018.
3. Superintendencia de Servicios Sanitarios, (sin año). Estudio de determinación de tarifas 2013-2018, Aguas Altiplano, S.A. Tomo I, Informe final

TECNOLOGÍA DE NEUTRALIZACIÓN

- **Descripción de la tecnología:** La tecnología de neutralización es un tratamiento químico que consiste en el ajuste del pH del efluente mediante un proceso ácido – base. Este ajuste de pH permite la descarga al medio receptor para una actividad biológica óptima y para la precipitación de metales pesados.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Cianuro.
Normas de emisión:	Sólidos suspendidos, DBO, cianuro.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos, DBO, cianuro.
Parámetros no normados:	Fósforo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	En función de la reacción de equilibrio ácido – base.
Pre-tratamiento:	Desbaste, desarenador.
Temperatura:	Temperatura ambiente.
Selectividad:	No es selectiva.
Tipo de operación:	<ul style="list-style-type: none"> - Discontinuo, si el flujo es inferior a 400 m³/día, se suele operar en modo estático. - Continuo, si el flujo excede los 400 m³/día, la regulación de pH se realiza en línea, mediante controladores automáticos.

- **Eficiencia de remoción**

	Sólidos suspendidos (%)	DBO (%)	Fosforo (%)
Mínimo	70	45	50
Promedio	78	50	75
Máximo	85	55	95

Eficiencia remoción no determinada: cianuro.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** en función del diseño de la planta de tratamiento.
- **Caudal de efluente a generar:** aproximadamente el 75 % del volumen del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** El volumen de reactivos variará en función de la condición ácido –base del efluente. Entre los reactivos más utilizados cabe mencionar el hidróxido cálcico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), carbonato cálcico (CaCO_3), sosa caustica (NaOH), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorhídrico (HCl).
- **Consumo de energía:** destinado al consumo de los agitadores.
- **Condiciones limitantes:** La principal condición limitante para el éxito de esta técnica es el control ácido – base del efluente. Se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:
 - No hay linealidad entre el volumen de neutralizante adicionado en el flujo y el cambio de pH del caudal a neutralizar.
 - El pH de un efluente industrial puede variar hasta con cinéticas de 1 unidad de pH por minuto.
 - El flujo puede duplicarse en unos pocos minutos.
 - Correcta homogeneización: Volúmenes pequeños de neutralizante debe mezclarse con una cantidad relativamente importante de líquido en un periodo de tiempo breve.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Sí, una vez que el efluente tienen unas condiciones de pH adecuadas se devuelve al flujo industrial o a las redes de alcantarillado para su posterior utilización dentro de los procesos industriales o en los servicios municipales, como por ejemplo, el riego de jardines ciudadanos.
- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** 20 años.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria de bebidas	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria productos químicos	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBd, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difineleter, CN⁻ y F⁻.
Industria curtidos y textil	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, SS, Cd, Cr_T, S²⁻, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, Cl⁻, As.
Industria elaboración de productos lácteos /Elaboración de productos de harinas y pastelería	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, TOC, pH, Fenoles, Sulfitos, detergentes, Fe, Color.
Industria de productos químicos: farmacéuticos y productos químicos finos.	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Soluciones medioambientales O&G	www.equiposyservicios.cl
	Pro Química SA	http://www.proequipos.com
Extranjero	Servyeco (España)	http://www.servyeco.com/
	Horus Environnement (Francia)	http://www.horus-environnement.com/
	Synergy Water Solutions, Inc	http://www.synergywater.com

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Actualmente esta tecnología se aplica en Chile. Un ejemplo es la planta de tratamiento mediante neutralización de Embotelladoras Chilenas Unidas. La planta de ácido de la Fundición Ventanas tiene otra planta de neutralización con el fin de tratar el efluente generado en la planta de ácido para su retorno al proceso de enfriamiento evaporativo de los gases de salida de convertidores de la Fundición. La empresa Agrozzi tiene un sistema de neutralización de Riles en la Región de Tenó.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Un ejemplo es la planta de tratamiento mediante neutralización de Embotelladoras Chilenas Unidas que trata un caudal de 450 m³/día.



Figura 1: Planta tratamiento neutralización industria minera.



Figura 2: Visión general de la planta de tratamiento de aguas de Antwerpen-Zuid, situado en el sur de Amberes (Bélgica).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La neutralización, como tratamiento químico, es un proceso de muy común acople con otras tecnologías. Un ejemplo es la patente española para depurar aguas residuales procedentes del procesado de la aceituna mediante (1) aireación (2) neutralización (3) filtración mediante carbón activo y (4) ozonización.

Por otra parte, el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso Fenton también lleva asociada una etapa de neutralización. Sin embargo, este tratamiento está limitado debido a los altos requerimientos tanto de H₂O₂, lo que supone un elevado coste operacional y de hierro, generando volúmenes importantes de lodos de Fe (OH)₃ tras la etapa de neutralización previa a su vertido.

ESTIMACIÓN DE COSTOS

NEUTRALIZACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$) –	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento/año (US \$)
<i>Caudal 1</i>	1,25	1.500	17.250	18.750	379

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

Caudal 2	2,6	1.096	12.602	13.698	822
Caudal 3	10	3760	43.240	47.000	6.300
Caudal 4	250	24.000	276.000	300.000	30.600
Caudal 5	500	46.000	529.000	575.000	125.000
Caudal 6	1000	69.723	801.814	871.537	244.855
Caudal 7	1200	77.783	894.504	972.287	292.223

FUNCIONES DE COSTOS

x: Caudal en m³/h; y: Costo en US\$

Costos de inversión total	$y = -0,4107x^2 + 1279,3x + 19590$	Rango de aplicación: 1,25 a 1.200 m ³ /h Costos de 21.188 a 963.342 US\$
---------------------------	------------------------------------	--

Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 243,8x + 818,36$	Rango de aplicación: 1,25 a 1.200 m ³ /h Costos de: 1.123 a 293.378 US\$/año
---	-----------------------	--

DESGLOSE DE VARIABLES

Reactivos

Aditivo	Dosis recomendada (mg/l)	Costo (US \$)
Ácido Sulfúrico	n.d.	6,8 US\$/litro
Neutralizante	50 a 100 gr/m3	0,75 a a1 US/kg

Consumo energético planta

Para un sistema de equalización de alrededor 20 m³/h se requiere una potencia de 3 kW, lo que equivale a 3 kWh/m³, para los agitadores sumergibles

Área ocupada por la instalación

Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)
2,6	20
1,25	22

Personal calificado necesario para la planta

Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1	Operario técnico medio	11.000

Condiciones de operación y mantención

Durante el proceso de neutralización se debe controlar y monitorizar el valor del pH del sistema.

Vida útil de los equipos

20

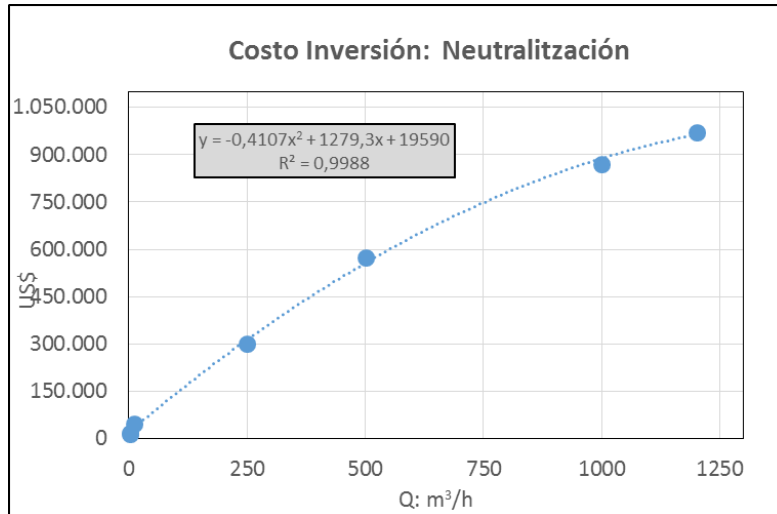
Costos calculados a partir del caudal 5 mediante factor de escala y exponente de Willians (n = 0,6 para inversión y 0,97 para operación y mantenimiento.)

Datos no utilizados para el diseño de la función de costos.

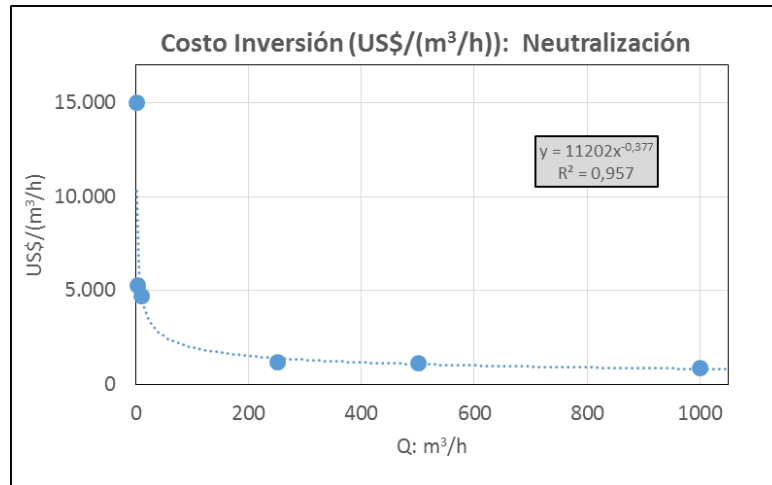
Los costos de equipos y obra civil se han estimado según los porcentajes del caudal 2

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

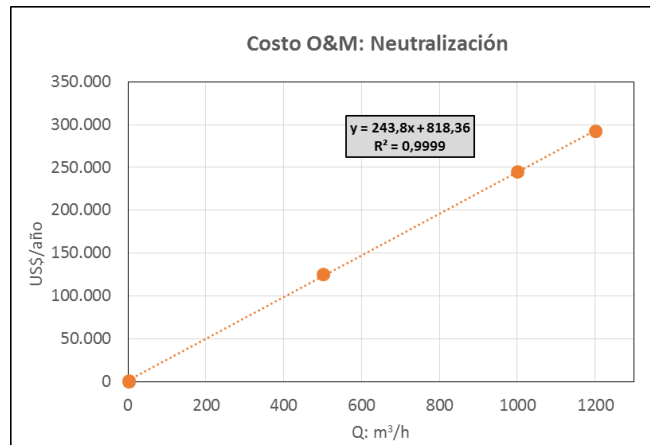


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

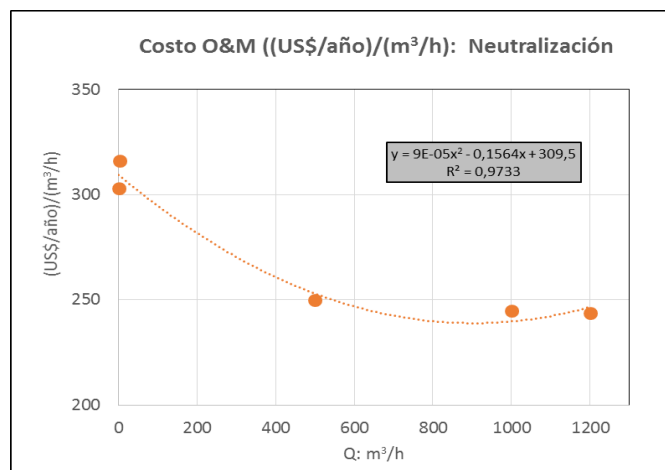


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Condiciones neutralización Messer.

1. Departamento Gestión Ambiental Bravo Energy, 2008. Declaración Impacto Ambiental: Regularización planta control de Riles. Embotelladoras Chilenas Unidas S.A. Planta Santiago.
2. http://www.messer.es/Sectores_y_aplicaciones/construccion/neutralizacion_aguas_construccion/Agua_en_condiciones.pdf
3. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
4. Secretaría Regional Ministerial de Salud, IX Región de La Araucanía, Nov. 1992. Aprueba Reglamento para la Neutralización y Depuración de los Residuos Líquidos Industriales a que se Refiere la Ley N° 3.133, D.S. N° 351/92, del Ministerio de Obras Públicas.
5. Sistema Halia de neutralización de pH. Carburos metálicos Grupo Air Products. http://www.carburos.com/productos_sectores/pdf/wwwt/Halia-pH-neutralisation.pdf

REFERENCIAS ESTIMACION COSTOS

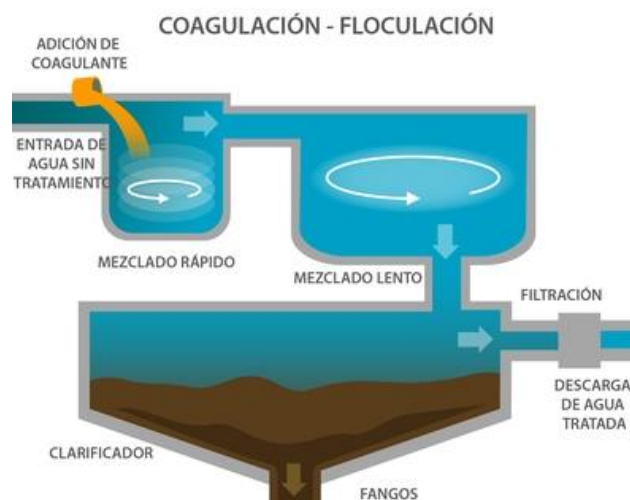
1. SEA 2005, DIA del Sistema de Neutralización para los Riles de una imprenta.
2. SEA, DIA de un sistema de neutralización para los Riles de una vitivinícola, formado por un separador parabólico y un sistema de neutralización.
3. SEA, DIA de una planta de aguas servidas.
4. SISS, 1999. Análisis Económico sobre el tratamiento de los Residuos Industriales Líquidos en Chile. Curva de costos para el sistema de neutralización.

TECNOLOGÍA DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

- **Descripción de la tecnología:** La coagulación-floculación es una tecnología de tratamiento químico la cual consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas. Estas partículas forman agregados de mayor tamaño denominados flóculos, los cuales sedimentan por gravedad. El proceso se lleva a cabo en dos etapas; en la primera (coagulación) las fuerzas interpartícula responsables de la estabilidad de los coloides son reducidas o anuladas por la adición de reactivos apropiados. En la segunda (floculación), se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica. Estos floculantes establecen puentes de unión entre los flóculos inicialmente formados de forma que se generan flóculos de mayor tamaño precipitando con mayor rapidez. Los principales compuestos químicos usados como coagulantes son las sales de aluminio como el sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, policloruro de aluminio y las sales de hierro (cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III)).

Los equipos involucrados son en general sistemas de dosificación con el correspondiente mecanismo de mezclado del agua a tratar. Estos equipos suelen ser un mezclador estático o una cámara de coagulación, seguida eventualmente por una de floculación rápida y/o lenta y una batea de sedimentación (con o sin placas paralelas).

El coagulante puede ser añadido de forma mecánica, por vertedores, paleando o en forma neumática. La agitación necesaria para el proceso se induce por medios mecánicos como paletas o difusores de aire. El tiempo requerido para la floculación depende de las características del agua. Se obtienen mejores resultados al trabajar con unidades en serie más que con una sola unidad, ya que cuando la floculación se realiza en una unidad independiente, la velocidad en los conductos de trasvase debe ser de 0,15 a 0,3 m/s para evitar que se rompa el flóculo.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	pH, color, mercurio, arsénico.
Normas de emisión:	Sólidos sedimentables, DBO, poder espumógeno, aceites y grasas, mercurio, arsénico.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO, color, aceites y grasas, mercurio, arsénico, AOX
Parámetros normados:	no Nitrógeno, fenol, fósforo, turbidez, cationes y aniones en general, DQO.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	15-45 min.
Pretratamiento:	Desbaste, desarenador.
Temperatura:	2-100 °C
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Continuo.

- Eficiencia de remoción**

	Sólidos sedimentables (%)	SST (%)	DBO (%)	DQO (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	59
Promedio	n.d	n.d	n.d	75
Máximo	99,9	99,9	99,9	90
	Color (%)	Fósforo (%)	Turbidez (%)	Fenol
Mínimo	89	n.d	n.d	n.d
Promedio	90	>90	n.d	>90
Máximo	91	n.d	99,9	n.d
	Bario (%)	Uranio (%)	Mercurio (%)	Arsénico
Mínimo	90	92	n.d	98
Promedio	94	93,5	n.d	98,5
Máximo	98	95	99	99
	Poder espumógeno (%)			
Mínimo	n.d			
Promedio	n.d			
Máximo	90			

(n.d: no definido) Eficiencia remoción no determinada: pH, aceites y grasas, nitrógeno, turbidez, cationes y aniones en general.

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** El caudal máximo de operación no tiene limitación ya que depende del diseño de la planta, sin embargo, las capacidades de tratamiento generalmente oscilan entre 480 – 16.000 m³/día.
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente un 75 % del volumen de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** las dosis de reactivos se calculan según tipo y cantidad de contaminante, aunque se recomienda que no supere la cantidad de 1 g reactivo/Kg de contaminante. Las cantidades de reactivos utilizados oscilan generalmente como se resume a continuación:
 CaI (Ca (OH)₂): 150 – 500 mg/L
 Al₂(SO₄)₃: 75 – 250 mg/L
 FeCl₃: 35 – 150 mg/L
 FeCl₂: 70 – 200 mg/L
- **Consumo de energía:** conexión estándar a la red para verificar el caudal de tratamiento considerando 2 aspectos fundamentales: (1) calibración del equipo de medición (caudalímetro; correntómetros; etc.) (2) ajuste de las curvas de calibración para el punto de medición y verificación de las curvas de medición para cada condición de flujo.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes;
 - Adición de floculantes.
 - Requiere zonas habilitadas para el almacenamiento de reactivos.
 - Durante el proceso se generan lodos, con lo cual se requieren planes de manejo ya que éstos pueden ser peligrosos dependiendo de la toxicidad del efluente a tratar.
 - Cuando las concentraciones de los parámetros presentes en el efluente presentan baja concentración, la eficiencia de remoción disminuye, demandando mayor consumo de reactivos y generando un mayor volumen de lodos.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**
 Generalmente antes de reutilizar el efluente se acoplan otro tipo de tratamientos secundarios y terciarios.
- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, los cuales pueden utilizarse posteriormente como abono o tratamiento posterior para la recuperación de metano y aprovechamiento energético.
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, siempre que los equipos tengan una mantención adecuada.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX, pesticidas organoclorados y organofosfatos.
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas	SST, DBO ₅ , DQO, NT inorgánico, PT, AOX, fenoles, TOC, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).
Industria de papel y madera	pH, DBO ₅ , DQO, Fenoles, Sulfitos, P _T , detergentes, Fe, Color.
Ganadería (cría de animales)	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T , Cu, Zn, TOC (Carbono orgánico Total), Cd, Cr, Hg, Ni, Pb.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Delkor South America Limitada	www.delkorglobal.com
	AcuaSud	www.acuasud.cl
Extranjero	Roamchemie NV (Bélgica)	http://www.roamchemie.com
	Hidrozon (Brasil)	http://www.hidrozon.com.br/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se usa actualmente en Chile (ver casos de aplicación).

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

1. Obra Agrosuper, Freirina, III región. http://www.ske.cl/home/agua_exp.html
2. Planta de tratamiento fisicoquímico de Viña San Pedro, Planta Molina. Capacidad de tratamiento 900 (m³/día).
3. Planta de tratamiento primario y secundario de efluentes de papelería CMPC. http://www.papelnet.cl/ambiente/tratamiento_efluentes.htm



Figura 1: Planta tratamiento Freirina, CMPC, Agrosuper



Figura 2: Planta tratamiento Molina, Viña San Pedro

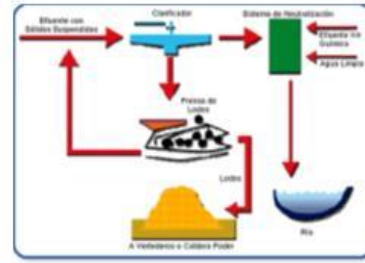


Figura 3: Planta tratamiento papelera CMPC

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

El tratamiento químico de coagulación – floculación suele acoplarse con el tratamiento primario de sedimentación decantación, ya que lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo este tratamiento previo. Esta operación se utiliza a menudo tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como con efluentes industriales. Por otra parte también es común realizar una coagulación-floculación previa al proceso de filtración para mejorar la eficacia.

Los procesos de coagulación-floculación permiten tratar, en combinación con la sedimentación o la flotación, efluentes con materia coloidal. Las aguas residuales procedentes de industrias del sector textil y agroalimentario constituyen ejemplos de aguas residuales contaminadas con materia coloidal que pueden ser sometidas a este tratamiento.

En cuanto a los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), el proceso de coagulación-floculación puede integrarse con el tratamiento Fenton. De forma general, los principales tratamientos físico-químicos que se han integrado con POA son coagulación, adsorción en carbón activo, filtración y separación por membranas.

ESTIMACIÓN COSTOS

En general los costos de un sistema de coagulación y floculación vienen determinados por los costos de instalación del tanque, el agitador y los sistemas de dosificación de los productos de coagulación y floculación.

En cuanto al área a ocupar por el tanque de floculación y coagulación, es un factor que depende de la velocidad de sedimentación de ambos procesos y de la altura del tanque, que suele encontrarse entre 2 y 3 m. Para grandes caudales, el área a tratar aumentaría considerablemente, por lo que es recomendable utilizar varios tanques.

A continuación se presentan los costos asociados a la instalación y a la operación y mantenimiento de los equipos instalados:

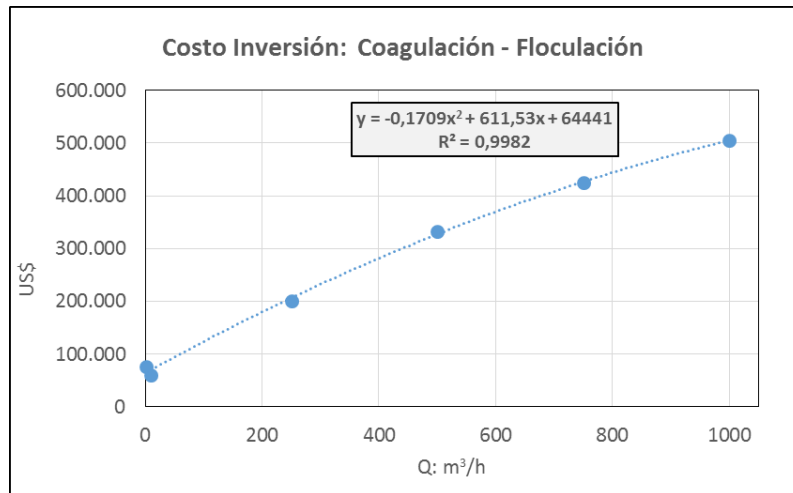
COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
Caudal 1	2	6.180	71.074	77.254	6.953
Caudal 2	10	4.837	55.624	60.461	5.200
Caudal 3	250	16.108	185.237	201.345	13.400
Caudal 4	500	26.659	306.576	333.235	16.500
Caudal 5	750	34.001	391.015	425.016	38.251
Caudal 6	1000	40.407	464.683	505.090	45.458
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -0,1709 x^2 + 611,53x + 64.441$		Rango de aplicación: 2 a 1.000 m ³ /h Costos de: 65.663 a 505.071 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 0,0211 x^2 + 20,328x + 5.848,7$		Rango de aplicación: 2 a 1.000 m ³ /h Costos de: 5.889 a 47.277 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Dosis recomendada (gr/m ³)	Costo (US \$/kg)			
Coagulante (FeCl ₃)	250 a 750	0,75 a 1			
Coagulante orgánico	250 a 750	0,6 a 1			
Floculante (Poli electrólito)	10 a 50	0,64 a 0,93			
Consumo energético planta					
Para un sistema de floculación y coagulación, de 40 m ³ /h se requiere de una potencia de 16 kW, lo que equivale a 0,4 kWh/m ³ .					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)			
40 – tanque coagulación - floculación		13			
Tanque de floculación (15 min) Factor de ocupación: Área/Caudal : 0,1 m ² h/m ³	43	4,25			
	142	14,17			
	688	68,75			
	1167	3 tanques de 38,9: total área ocupada 117			
	5625	5 tanques de 112,5: total área ocupada 563			
	7875	7 tanques de 112,5: total área ocupada 788			
Tanque de coagulación (3 min)	43	0,85			
	142	2,83			

Factor de ocupación: Área/Caudal : 0,02 m ² h/m ³	688	13,75
	1167	2 tanques de 11,67: total área ocupada 24
	5625	3 tanques de 37,50: total área ocupada 113
	7875	3 tanques de 52,5: total área ocupada 158
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
1-2 persona	Técnico medio-operario	11.000
Condiciones de operación y mantenimiento		
El proceso de coagulación y floculación debe ser controlada en todo momento, para comprobar la eficiencia del proceso en relación a la dosis aplicada. El control debe realizarse de forma visual, a través de control del pH y de la turbidez.		
Vida útil de los equipos		
20		

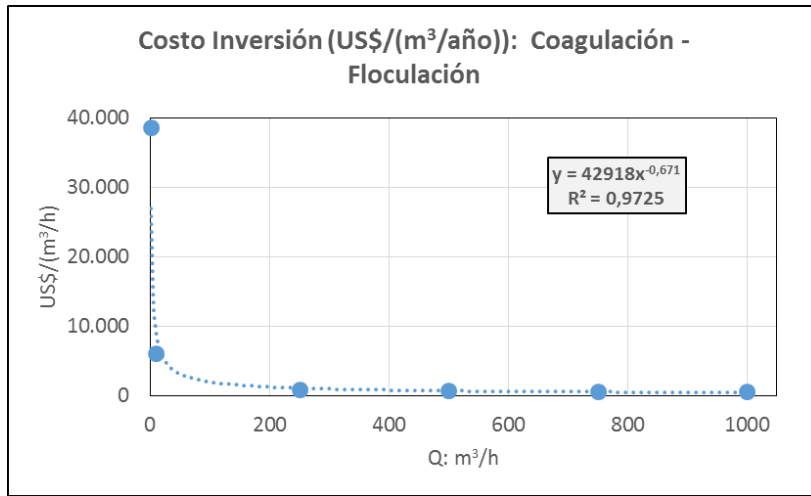
- Costos calculados a partir del caudal 4 mediante factor de escala y exponente de Willians (n = 0,6)
- Los costos de equipos y obra civil considerando un % similar a la tecnología de neutralización.

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación del costo inversión con el caudal de diseño:

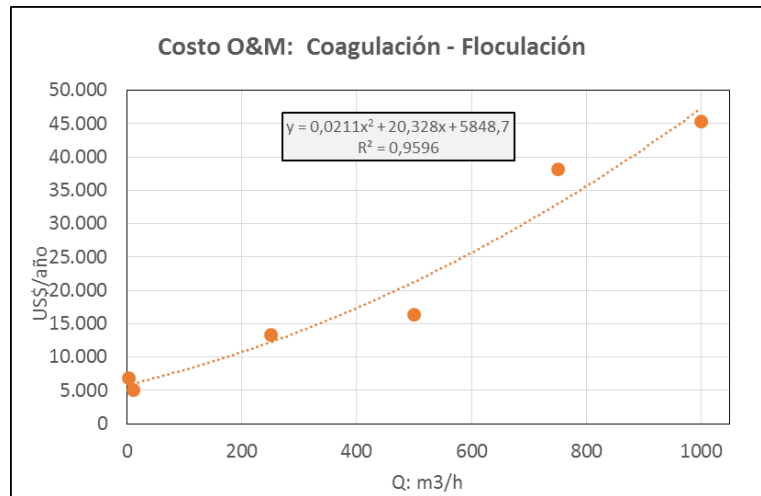


Relación del costo de inversión con el caudal de diseño:

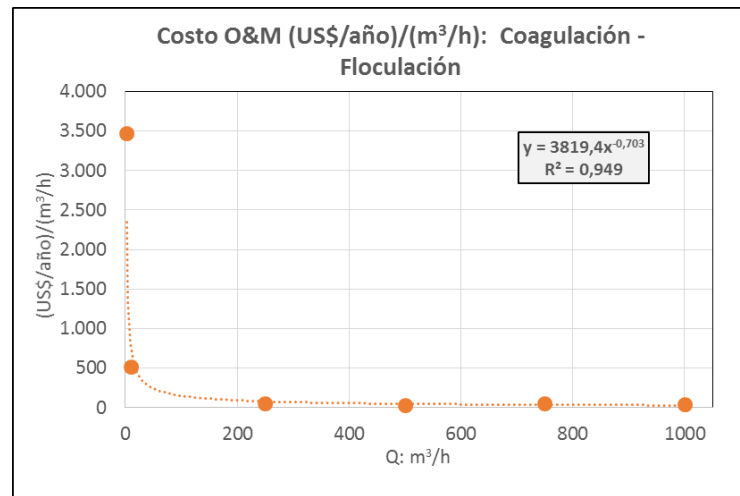


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación del costo de operación y mantenimiento con el caudal de diseño:



Relación del costo de operación y mantenimiento con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castro de Esparza M.L., 2006. Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos. International Congress México City, 20-24 June.
2. Comisión Nacional del Agua, 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnologías simplificada, ISBN: 978-968-817-880-5.
3. D' Ambrosio, 2005. Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico.
4. Fontanills Seisdedos, Luis Antonio, 1998. Una tecnología apropiada para la clarificación de aguas de consumo humano en poblaciones periurbanas y rurales. Tesis de Maestría.
5. Lorenzo-Acosta Yaniris, 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica.
6. Martínez Navarro Fabiola, 2007. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional, Universidad de Castilla La Mancha, España.

REFERENCIAS ESTIMACION COSTOS

1. Cotización para planta de tratamiento de RILES.
2. Environmental Protection Agency, 2002, Water Treatment Manuals, Coagulation, Flocculation and Clarification. Ireland.
3. Morales, M, 2010. Aplicación de procesos de coagulación floculación en la regeneración de aguas depuradas. Proyecto final de carrera. Universidad de Zaragoza.
4. SEA, 2008, Planta de tratamiento de RILES,

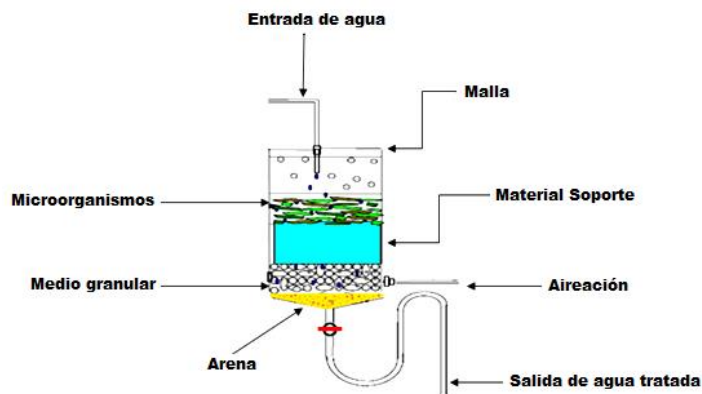
TECNOLOGÍA DE BIOFILTROS

- **Descripción de la tecnología:** Un biofiltro consiste en un reactor compuesto por un material soporte que permite la filtración de las aguas residuales y el desarrollo de una biomasa microbiana adaptada a éste. El proceso de biofiltración conlleva la combinación de (a) una acción mecánica, por medio de la cual se retiene la materia en suspensión mediante filtración y (b) una transformación biológica realizada por los microorganismos de los contaminantes contenidos en el agua a tratar.

El funcionamiento general de la biofiltración se compone de tres fases: (i) la fase sólida, en la cual un material granular ejerce la función de refuerzo de la proliferación microbiana y permite la retención de la materia en suspensión mediante filtración. Dicho soporte granular debe poseer una retícula microporosa considerable para la obtención de una superficie específica elevada, debe ser resistente a la abrasión y debe retener las partículas. (ii) la fase líquida, compuesta por el agua que se desea tratar y (iii) la fase gaseosa, constituida por la insuflación de oxígeno en la masa filtrante necesaria para la degradación aeróbica de la materia orgánica.

Para activar los mecanismos reactivos en una unidad de biofiltración, se efectúa una separación física mediante el paso de las aguas a través del biofiltro. De este modo, la materia en suspensión se retiene, acumulándose en el volumen intersticial disponible. Paralelamente, entra en juego la actividad metabólica de los microorganismos fijados en el soporte granular, produciéndose una biodegradación de la contaminación carbonada acompañada de la eliminación de las formas nitrogenadas presentes.

Tradicionalmente, el reactor comprende un fondo fijo con dobles conductos que permite la alimentación del aire y del efluente. Durante su funcionamiento, bajo ese fondo de conductos se crea un colchón de aire, de modo que el aire circula permanentemente en el interior del biofiltro. La aireación, el lavado, la elección del soporte filtrante, la altura de relleno y las características del efluente que se quiere tratar, constituyen factores esenciales para la concepción de una unidad de tratamiento con un rendimiento de depuración óptimo. Los biofiltros empleados pueden subdividirse en biofiltros de lecho fijo (BLF), biofiltros de lecho escurrido (BLE) y biolavadores. Esta clasificación se basa en las condiciones en las que se encuentran los microorganismos en el sistema y el patrón de flujo de la fase líquida.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Coliformes fecales, color.
Normas de emisión:	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO ₅ , coliformes fecales, nitrógeno total, aceites y grasas, sólidos sedimentables, fósforo total, tolueno.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO ₅ , coliformes fecales, nitrógeno total, color, amonio, fósforo total.
Parámetros no normados:	Turbidez, sólidos suspendidos volátiles (SSV), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos, fenol, estireno.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	10-16 h/día. Durante el trascurso de este proceso es necesario el lavado del soporte filtrante cada 1 a 3 días. Bajo el efecto conjugado de la proliferación bacteriana y de la retención de la materia en suspensión, las pérdidas de carga aumentan y pueden crear pasos preferenciales en el biofiltro. Para recuperar las características hidráulicas iniciales, el lavado se realiza en 3 etapas. Tras un levantamiento del lecho filtrante en el aire, el lavado se efectúa con una mezcla de aire/agua seguida de una clarificación solo con agua. Este proceso de limpieza se realiza en un rango de tiempo de 20 a 50 minutos.
Pre-tratamiento:	Desbaste.
Temperatura:	15°C – 70°C. Excepcionalmente existen biofiltros que han sido instalados a temperaturas bajo cero.
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Continuo.

- Eficiencia de remoción**

	Nitrato (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	N-Total (%)
Mínimo	50	85	90	60
Promedio	70	90	92,5	70
Máximo	90	95	95	80
	Fósforo Total (%)	SST (%)	Sólidos sedimentables (%)	E. Coli (%)
Mínimo	60	90	90	90
Promedio	77,5	93,5	92,5	92,5
Máximo	95	97	95	95
	SSV (%)	Aceite y grasas (%)	Amonio (%)	COVs (%) (1,2 DCE; Benceno)
Mínimo	n.d	30	80	85
Promedio	n.d	61	85	90
Máximo	93	92	90	95

	Fenol (%)	Estireno (%)	Color (%)	Tolueno (%)
Mínimo	n.d	n.d	80	n.d
Promedio	n.d	n.d	90	n.d
Máximo	97	>65	99	97

(n.d: no definido). Eficiencia remoción no determinada: coliformes fecales y turbidez.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** Los biofiltros instalados pueden abarcar áreas que van desde los 10 a 2.000 m², tratando volúmenes de efluente en el rango de 17 a 2.500 m³/min. Igualmente, la capacidad de tratamiento va a depender de las características del biofiltro empleado como se expone en la siguiente tabla.

Tipo de Filtro	Medio	Altura (mts.)	Carga Hidráulica m ³ /dia/m ²	Carga Orgánica Kg. DBO/dia/m ³
Estándar	Roca	1.8 a 2.4	1.0 a 4.0	0.08 a 0.4
Alto Rendimiento	Roca	0.9 a 1.5	4.0 a 40	0.4 a 1.6
Alto Rendimiento	Sintético	5 a 10	15 a 90	0.8 a 4.8
Filtro Grueso	Sintético	5 a 10	60 a 100	1.5 a 4.8

Características de filtros biológicos (Fuente: Rocha E. 2008).

- **Caudal de efluente a generar:** 75 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** no requiere.
- **Consumo de energía:** El consumo de energía de un biofiltro es una parte substancial de los costos de operación. El equipamiento eléctrico (bombas de agua, equipamiento analítico, ordenadores, etc.) requerirán electricidad. No obstante, la mayoría de los costos eléctricos se originan a causa de la soplante. La pérdida de presión a través del conducto de aire de entrada, la cámara de humidificación y el lecho crea un incremento de la demanda eléctrica. Una gran proporción de esta demanda eléctrica es función de la porosidad, contenido de humedad y de la estructura del lecho. Con el tiempo, el material de soporte se degrada y la demanda eléctrica se incrementa debido a las pérdidas de carga que esto supone.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes;
 - Superficie de terreno grande para un diseño tradicional.
 - No es posible ajustar el pH del lecho o agregar nutrientes ya que no hay un flujo interno continuo del efluente.
 - El diseño tradicional no tiene una tapa cubierta, lo que dificulta la capacidad de obtención de muestras representativas de emisiones del escape y determinar el nivel de eficiencia de remoción de parámetros.

- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Sí, entre las actividades de reuso sugeridas se encuentran el regadío de cultivos de consumo crudo destinado al mercado externo, riego de jardines y campos de golf, fertilización de zonas costeras, agua de enfriamiento de generadores de energía eléctrica (termoeléctrica), hidroeléctrica, llenado de lagos y humedales.
- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica
Emisiones	CO ₂

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, teniendo en cuenta la vida útil de los equipos electromecánicos. Se debe tener en cuenta las características de los materiales naturales, éstos hacen necesario el cambio de soporte al cabo de periodos de tres a cinco años. El reemplazo del lecho suele realizarse de 2 a 6 semanas, dependiendo del tamaño de éste.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria elaboración de productos lácteos.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Minería.	Varían en función del metal extraído. <ul style="list-style-type: none"> • Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). • Explotación Cu: pH, conductividad, S²⁻, metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). • Explotación Au y Ag: CN⁻, As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO₄²⁻.
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas.
Industria de productos químicos	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, HCH, tolueno, etilbenceno y xileno.
Ganadería (cría de animales)	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N _T , P _T , coliformes, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ y PO ₄ ²⁻ , Cloruros.

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	Biofiltro	http://www.biofiltro.cl/
	Acuasud	http://www.acuasud.cl/
Extranjero	Aguas del Mare Nostrum (España).	http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/
	Suez Environnement (Francia).	http://www.suez-environnement.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

La tecnología se utiliza ampliamente en Chile. Como ejemplo, la empresa Biofiltros tiene múltiples proyectos en Chile y el extranjero desarrollando esta tecnología para el tratamiento para Riles y aguas servidas.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN



Figura 1: Proyecto biofiltros en empresa Agrofoods situada en Malloa (Chile), con un caudal de tratamiento de 2.200m³/d.



Figura 2: Proyecto biofiltros empresa Lactea Della Vita situada en Santa Catalina (Brasil), con un caudal de tratamiento de 80 m³/d.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Los biofiltros llevan acoplado previamente un sistema de filtración, para eliminar las sales inorgánicas y un tanque de almacenamiento / sedimentación donde se retiene los elementos semisólidos. A partir de aquí el efluente pasa por el sistema de biofiltros y a la salida por otro tanque donde se aplica un proceso de cloración con el fin de desinfectar totalmente el efluente de salida.

ESTIMACIÓN COSTOS

El sistema de depuración de aguas mediante biofiltros presenta unos costos reducidos. Además tiene la ventaja de que puede ser dimensionado a cualquier escala, por lo que puede ser aplicado tanto al tratamiento de las aguas de RILES como a las aguas servidas.

Los costes de inversión asociados a dicha tecnología son en general muy bajos, ya que se requiere un superficie reducida (el agua es tratada en minutos) y no se requieren equipos complejos. En general, el coste de inversión asociado a estas instalaciones se estima alrededor de los 15-60 US\$ por habitante (Fundación para la transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile).

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento, y dado que no se utilizan compuestos químicos, estos derivan principalmente del consumo energético de los equipos de bombeo y de los equipos de desinfección.

PLANTA DE DEPURACIÓN DE AGUAS MEDIANTE BIOFILTROS						
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)	
FLUJO HORIZONTAL	Caudal 1	0,04	1.240	974	2.214	252
	Caudal 2	0,30	5.560	4.369	9.929	1.131
	Caudal 3	1,25	18.297	14.376	32.673	3.725
	Caudal 4	4,16	31.559	24.797	56.356	6.441
	Caudal 5	6,67	37.624	29.561	67.185	8.550
	Caudal 6	7,5	51.472	40.442	91.914	9.173
	Caudal 7	9,17	94.558	74.296	168.854	10.349
	Caudal 8	15,21	69.311	54.458	123.769	14.021
	Caudal 9	17,42	86.939	68.309	155.248	15.210
	Caudal 10	37,92	315.686	248.039	563.725	24.256
	Caudal 11	75	475.303	373.453	848.756	36.520
	Caudal 12	100	564.851	443.812	1.008.663	43.401
	Caudal 13	250	978.810	769.065	1.747.875	75.208
	Caudal 14	500	1.483.598	1.165.685	2.649.283	113.993
	Caudal 15	750	1.892.218	1.486.742	3.378.960	145.390
	Caudal 16	1.000	2.248.715	1.766.847	4.015.562	172.782
FLUJO VERTICAL	Caudal 1	0,63	221.964	174.401	396.365	28.703
	Caudal 2	1,57	265.998	208.998	474.996	35.917
	Caudal 3	3,94	404.388	317.733	722.121	60.499

Caudal 4	7,89	761.149	598.045	1.359.194	88.908
Caudal 5	18,00	1.248.495	980.960	2.229.455	244.657
Caudal 6	36,00	1.892.364	1.486.858	3.379.222	389.899
Caudal 7	72	2.868.288	2.253.655	5.121.943	536.516
Caudal 8	180	4.970.348	3.905.273	8.875.621	733.737
Caudal 9	360	7.533.639	5.919.287	13.452.926	883,288
Caudal 10	900	13.054.756	10.257.309	23.312.065	1.074.901
Caudal 11	1.080	14.563.895	11.443.060	26.006.955	1.121.636
Caudal 12	1.080	1.115.109	868.749	1.983.858	64.582
Caudal 13	1.800	n.d.	n.d.	35.334.484	1.238.473

Molinos-Senante et al., 2012:

Costos de Inversión: $I(\text{€/población equivalente, p.e.})=12.237x^{-0.487}$ ($r^2=0,993$)

Costos de Operación y Mantenimiento: $O\&M(\text{€/p.e.})=13.504x+6.030$ ($r^2=0,998$)

p.e.: población equivalente.

FUNCIONES DE COSTOS

x: Caudal en m³/h; y: Costo en US\$

FLUJO HORIZONTAL

Costos de inversión total	$y = -3,1274x^2 + 6.929,6x + 100.844^{(1)}$	Rango de aplicación: 9,17 a 1.000 m ³ /h Costos de: 164.125 a 3.903.044 US\$
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 2.738,4x^{0,6}$	Rango de aplicación: 4,16 a 1.000 m ³ /h Costos de: 6.441 a 172.781 US\$

FLUJO VERTICAL

Costos de inversión total	$y = 401.161x^{0,5948}$	Rango de aplicación: 0,63 a 1.000 m ³ /h Costos de: 304.766 a 24.418.484 US\$
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 167.590 \cdot \ln(x) - 113.516$	Rango de aplicación: 2 a 1.800 m ³ /h Costos de: 2.649 a 1.142.662 US\$

DESGLOSE DE VARIABLES

Reactivos

Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)
No aplica	-	-

Consumo energético planta

Superior a 2 kW·h/kg DBO₅

Área ocupada por la instalación

Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	Flujo
0,04	12	Horizontal
0,30	129	Horizontal
1,25	330	Horizontal
4,17	1.300	Horizontal

6,67	930	Horizontal
7,50	2.047	Horizontal
9,17	2.640	Horizontal
15,21	4.218	Horizontal
17,42	3.338	Horizontal
37,92	11.378	Horizontal
60	4,6	Vertical
1.890	1.080	Vertical
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
3 turnos/día	Técnico operario	1.500
1 turno/día	Técnico ingeniero	2.500
Costos de monitoreo y control		
Sustitución del material de soporte.		
Vida útil de los equipos		
20 años.		

Datos extrapolados mediante el método de Williams donde el exponente n es igual a 0,6. Estos datos se han tenido en cuenta para obtener las curvas de costos.

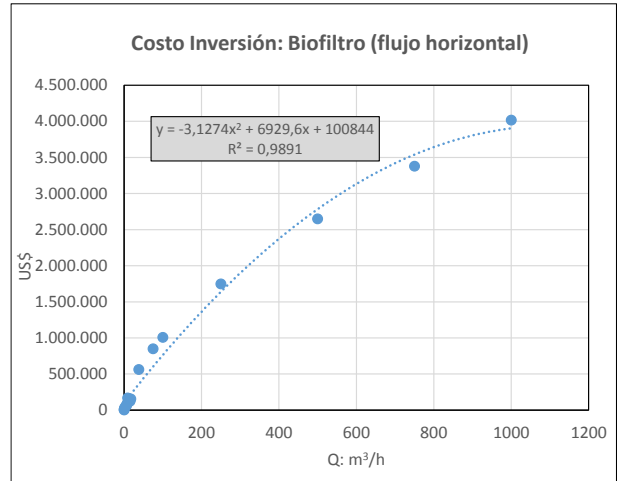
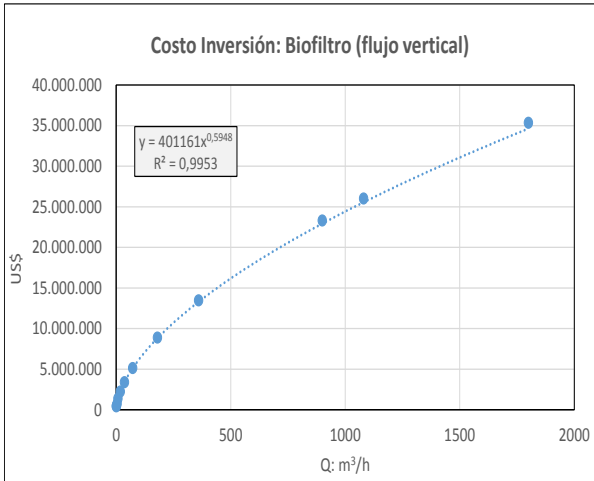
Datos eliminados para el desarrollo de las funciones de costos por su fuerte desviación frente a la tendencia general.

Los costos de operación y mantenimiento (flujo horizontal) presentados en azul son datos estimados aplicando la relación entre costos de inversión y de operación reales identificados a partir del caudal 4 (11,4%). En el caso de los costos de equipos y obra civil, su valor se ha calculado asumiendo que estos costos equivalen al 56 y 44 %, respectivamente, de los costos totales de inversión, tal y como se deduce a partir de los datos reales del Caudal nº12.

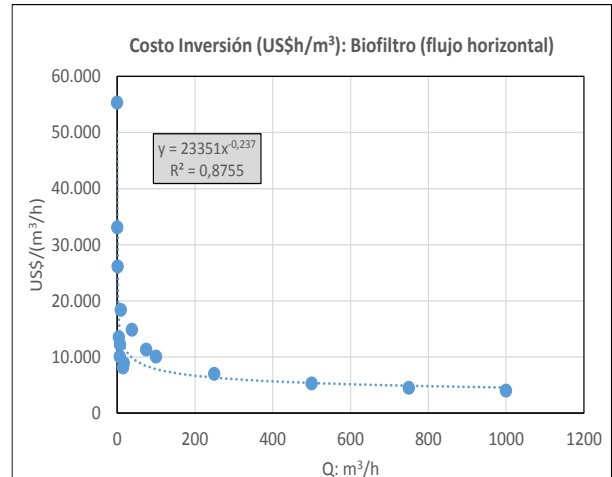
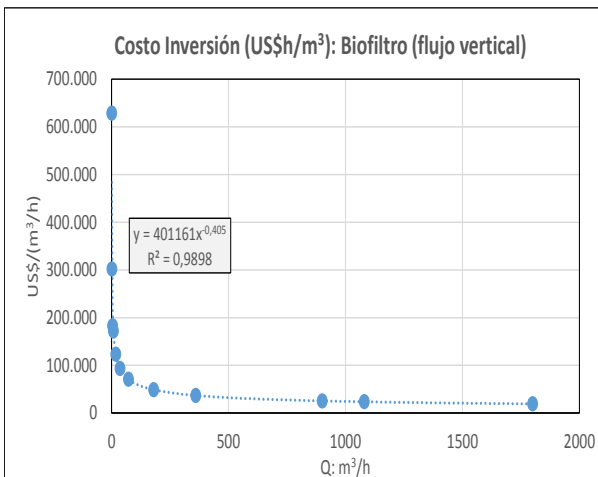
⁽¹⁾Se ha comprobado que la función de costos de inversión no es válida para caudales inferiores a 9,17 ya que la diferencia entre el valor real y el teórico supera el 1.000%.

- Representación de las funciones costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

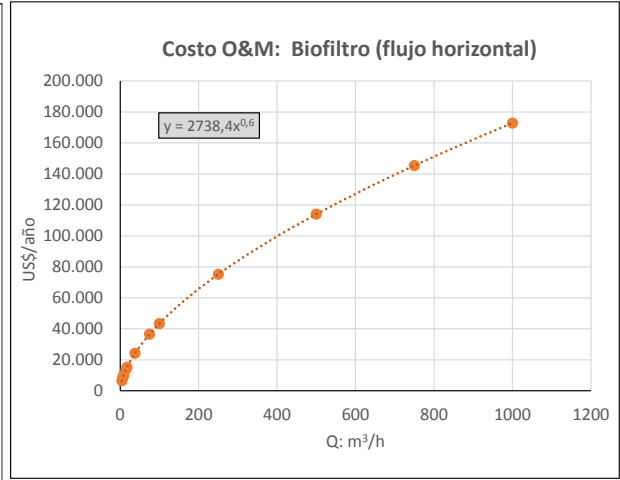
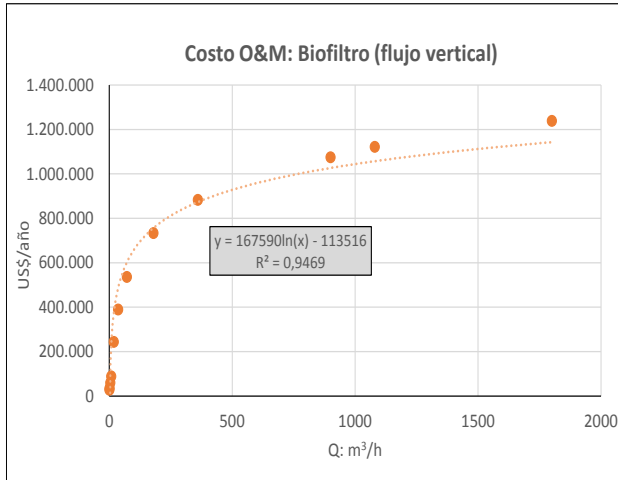


Relación de US\$/m³/h con el caudal de diseño:

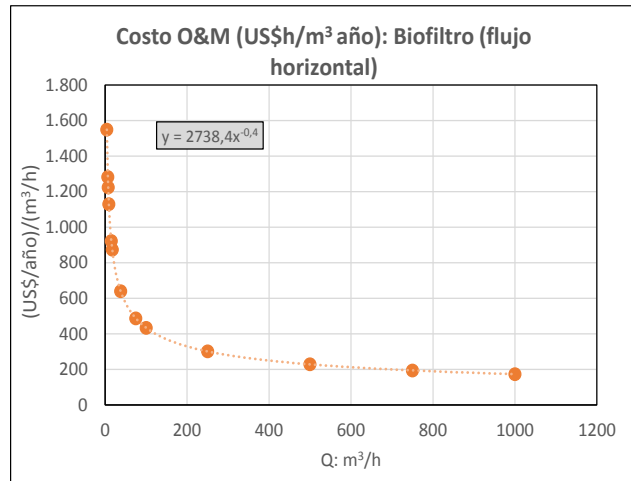
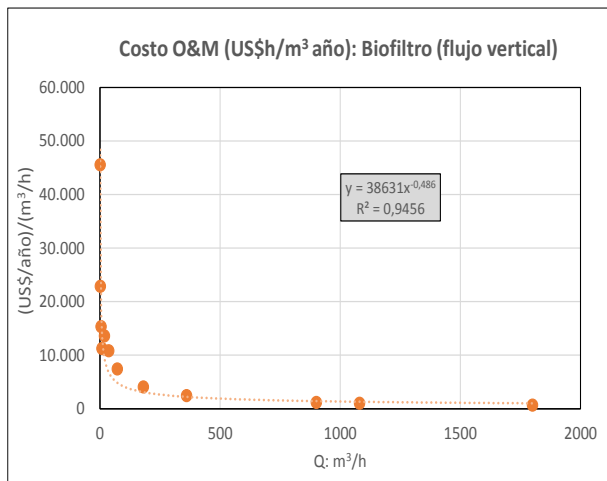


• Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Durgananda Singh Chaudhary, Saravanamuthu Vigneswaran, Huu-Hao Ngo, Wang Geun Shim and Hee Moon, 2003. Biofilter in Water and Wastewater Treatment, Korean J. Chem. Eng., 20(6), pp. 1054-1065.
2. EPA, 2004. Uso de Birreactores para controlar la contaminación del aire.
3. Evaluación del proceso de remoción de H₂S utilizando un biofiltro, en el proceso de espesadores de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Acapulco, Guerrero México.

4. Preciado M. G. y Rojas T. A., 2013. Diseño de un Biofiltro con Fibra de Coco (Cocos nucífera) para el tratamiento de aguas residuales.
5. Rocha Edmundo, 2008. Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales- Sistemas alternos de tratamiento de aguas residuales.
6. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
7. Terraviva TEC S.L, 2008-2009. Biofiltración innovadora para el tratamiento de aguas residuales.
8. Villén Pérez Lorena, 2008. Diseño de un biofiltro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

1. Biological Nutrient Removal processes and costs. US, EPA 2006.
2. Gómez, D., 2000. Diseño de biofiltros. Tratamiento de aguas residuales. Congreso Ciencia Y Conciencia: compromiso nacional con el medio ambiente. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.
3. Gauss, M., Cáceres, V., Fong, N., 2004. Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua y Centroamérica. Centro de investigación y estudios en Medio Ambiente, CIEMA. Universidad Nacional de Ingeniería, UNI.
4. Gúzman, M.G., 2004. Estudio de factibilidad de la aplicación del sistema Toha en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia. Universidad Austral de Chile.
5. KPC biofilter wastewater treatment system for single dwellings (<http://www.kilkennyprecast.ie/IAB050216.pdf>).
6. Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernandez-Sancho, F., Poch, M., 2012. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: environmental and economic aspects. Science of the total environment 427-428: 11-18.
7. Sitio web: www.proyectocarmac.org

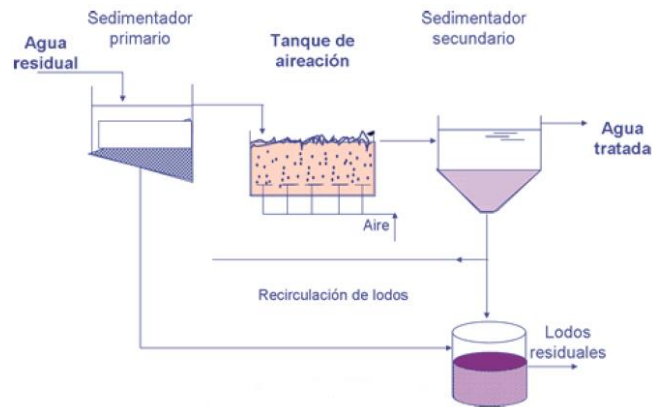
TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- **Descripción de la tecnología:** La denominación del proceso de lodos activados o fangos activados proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. A escala industrial, el proceso de depuración de aguas residuales por lodos activos consta de una primera etapa de aireación, que tiene lugar en el denominado tanque de aireación donde se produce la asimilación y degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. La segunda etapa se lleva a cabo en el llamado clarificador o decantador secundario mediante la sedimentación de los lodos generados en la primera.

Teniendo en cuenta estas dos etapas, el proceso de tratamiento por lodos activos consta de un reactor o tanque de aireación (reactor aerobio), donde se pone en contacto de forma continua el agua residual a tratar. Este efluente presenta concentraciones elevadas de materia orgánica disuelta y microorganismos (bacterias, hongos, algas, protozoos, rotíferos), que se encuentran en suspensión en el seno del reactor. En condiciones no limitantes de oxígeno y sustrato, se alcanzan velocidades extremadamente altas de crecimiento y actividad microbiana, con el correspondiente consumo de materia orgánica y síntesis de productos finales estables e inertes con el consecuente material celular derivado de la biosíntesis.

El sistema de lodos activados opera con una entrada de alimentación y salida de efluente del proceso constante. A través de dispositivos mecánicos tales como turbinas o agitadores, se consigue la agitación y homogeneización adecuada en el medio para favorecer el contacto entre la biomasa y el efluente, evitando de este modo posibles limitaciones del proceso por transferencia de materia. El contenido del reactor se denomina licor mezcla y se representa por MLVSS (mezcla de agua y sólidos en suspensión). El oxígeno necesario para el desarrollo de la actividad microbiana se suministra a partir de compresores de alta capacidad, a través de difusores (de burbuja fina o gruesa) o bien mediante aireadores mecánicos (superficiales o sumergidos) para favorecer la disolución del oxígeno atmosférico.

En condiciones óptimas de funcionamiento, la materia orgánica presente en el vertido sirve de sustrato o alimento a los microorganismos, los cuales la utilizan para llevar a cabo sus funciones vitales, siendo éstas la síntesis y el mantenimiento celular. La velocidad de crecimiento celular es la limitante de la capacidad de tratamiento del sistema, de forma que para cada caudal específico de alimentación a tratar existe un volumen mínimo de instalación necesario para alcanzar un determinado grado de depuración. En este sentido, para aumentar la capacidad de tratamiento de la unidad de lodos activos se recurre a la recirculación parcial de los lodos biológicos que abandonan el reactor. Normalmente entre 10-30 % se recirculan a la cabeza del reactor mediante el adecuado sistema de bombeo, aumentando considerablemente la concentración de microorganismos en el seno del reactor y por tanto, el tiempo de residencia de los mismos en el tanque. Esto hace que el tiempo de retención de sólidos aumente considerablemente frente al tiempo hidráulico de retención.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Coliformes fecales.
Normas de emisión:	DBO, coliformes fecales, nitrógeno amoniacal (NH ₄ -N), nitrógeno total.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Solidos suspendidos totales (SST), DBO, fosfato, amonio, coliformes fecales, nitrógeno total.
Parámetros no normados:	DQO, nitrógeno orgánico, diclorofenol, triclorofenol, tetraclorofenol, pentaclorofenol.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Los datos incluidos en este apartado corresponden a lodos activados convencionales

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	Tiempo de retención hidráulica 18-36 h. Tiempo de retención celular 20-30 d.
Pre-tratamiento:	Filtrado previo
Temperatura:	15-40 °C
Selectividad:	No es selectivo
Tipo de operación:	Continuo

- **Eficiencia de remoción**

	DBO ₅ (%)	DQO (%)	SST (%)	Fosfato (%)
Mínimo	75	80	85	10
Promedio	85	87,5	90	17,5
Máximo	95	95	90	25

	Nitrógeno total (%)	NH ₄ ⁺ -N (%)	Fósforo (%)	Coliformes fecales (%)
Mínimo	15	8	10	60
Promedio	22,2	12,5	17,5	75
Máximo	30	15	25	90
	Diclorofenol (%)	Triclorofenol (%)	Tetraclorofenol (%)	Pentaclorofenol (%)
Mínimo	n.d	51	86	50
Promedio	n.d	60	93	65
Máximo	78	69	100	80
	N orgánico (%)			
Mínimo	15			
Promedio	n.d			
Máximo	20			

(n.d: no definido). Eficiencia de remoción no determinada: amonio.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** La capacidad de tratamiento de esta tecnología depende del caudal de diseño. No obstante, una gran parte de estas plantas trata entre 75-250 l/min de agua residual. Por otra parte existen otros parámetros asociados al reactor que se sitúan en los siguientes rangos:

Carga volumétrica 0,16 – 0,40 kg DBO₅/m³ d

Carga de superficie 1,0 – 1,33 m³/m² h

Velocidad superficial del efluente de 30 - 40 m³/m² d

- **Caudal de efluente a generar:** 75 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** La relación oxígeno/DBO es de 2 a 2,5 kg O₂/kg DBO₅. El cloruro férrico y la cal son los reactivos minerales más empleados.
- **Consumo de energía:** Requiere de una aireación continua, lo que se traduce en altos costos de operación por concepto de energía eléctrica, hasta 266 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes:
 - La capacidad de carga orgánica es limitada.
 - Se requieren operadores con capacitación adecuada.
 - Se requiere un área de depósito para los lodos.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos? Sí,** para riego de áreas recreativas.

- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, los cuales pueden utilizarse posteriormente como abono o tratamiento posterior para la recuperación de metano y aprovechamiento energético.
Emisiones	CO ₂

- **Vida media de la tecnología:** 20 años en función de la mantención del reactor.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Planta de tratamiento de Riles	<p>- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	Aguasin	http://www.aguasin.com/
	Aguas Sipra S.A.	http://www.aguassipra.cl/
	Acuasud	http://www.acuasud.cl/
Extranjero	Ecosagua (México)	http://www.ecosagua.com.mx/
	Rashon (Red de agua y saneamiento de Honduras)	http://www.rashon.org/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

La tecnología se utiliza ampliamente en Chile. Como ejemplo, la empresa Aguasin diseño y construyó una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas tipo lodos activados para le empresa Salica del Ecuador S.A. Esta planta trata un caudal medio de 144 m³/día y entre otros, incluye estanque de procesos (tratamiento biológico), tratamiento de cloración/decloración del efluente y tratamiento de lodos.

La empresa Aguas Sipra diseño e instaló el sistema de tratamiento de aguas servidas mediante lodos activados con aireación extendida. Esta planta presenta un caudal medio diario de 256 m³/d.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

El sistema de depuración de aguas de Lodos Activados es el más extendido tanto nacional como internacionalmente. Se trata de una tecnología robusta, de baja generación de olores molestos y para la cual se requieren áreas moderadamente pequeñas. Sin embargo, se generan un alto volumen de lodos que deben ser correctamente manejados y sus costes de operación pueden incrementar notablemente en el caso de requerir el aporte de oxígeno puro.



Figura 1: Sistema híbrido UASB-Lodos Activados Convencional en escala real para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología de lodos activados se aplica en múltiples proyectos, generalmente en serie con tratamientos previos primarios y físico - químicos. Entre múltiples ejemplos, las empresas DLC S.A, y AmbienChile operan muchos proyectos a lo largo de todo Chile y el extranjero. En general, la secuencia con la que operan para las plantas de tratamientos de aguas servidas es la siguiente;

- (1) Decantador – digestor: las aguas servidas entran al primer compartimento donde son retenidas permitiendo la sedimentación de partículas en suspensión y posterior digestión de los sólidos más gruesos. Otra opción sería una cámara de rejillas para desbaste automático y estanque desgrasador, consiguiendo eliminar gran parte de los elementos gruesos no solubles así como rebajar la carga orgánica del efluente.
- (2) Estanque de aireación: se procede a bombear oxígeno disuelto en el efluente para promover la oxidación aeróbica de la materia orgánica.
- (3) Sistema de tratamiento biológico combinado de lodos activos y masa fija.
- (4) Sistema de desinfección con cloro líquido, con objeto de eliminar los agentes patógenos como E. Coli, bacterias, etc.

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

(5) Estabilización del lodo biológico con digestor.

Por otra parte, otro acople común es el sistema anaerobio – aerobio, en este caso el tratamiento previo anaeróbico UASB junto con el tratamiento de lodos activados. Este proceso manifiesta un rendimiento de operación constante, mientras que el sistema de tratamiento de lodos activados y sin tratamiento previo anaeróbico produce un efluente de calidad oscilatoria. El acople entre el sistema anaerobio-aerobio ofrece mejor eficiencia de remoción de la materia orgánica en comparación con el efluente tratado únicamente mediante lodos activados. El tratamiento anaeróbico-aeróbico también reduce considerablemente el consumo eléctrico en la planta de tratamiento biológico, disminuyendo directamente los costos operativos.

Gracias a los diversos acoples con la tecnología de lodos activados, podemos tratar tanto efluentes de aguas servidas como de riles, reduciendo los parámetros normados por debajo de los límites establecidos en la legislación.

ESTIMACIÓN COSTOS

Uno de los costos principales de la tecnología de lodos activados es el referente al consumo energético asociado al aporte de oxígeno, ya sea en su estado puro o como parte del aire, para mantener las condiciones aerobias del reactor. La transferencia de oxígeno de la fase gas a la líquida se realiza mediante difusores. Cuanto menor sea el tamaño de la burbuja, mayor superficie de contacto y, por lo tanto, mayor eficiencia de proceso y menor coste de tratamiento.

Existen otras partidas asociadas a los costes de operación y mantenimiento de estas instalaciones tales como:

- Consumo energético asociado al funcionamiento de las bombas de impulsión de fluidos.
- Sistema continuo de monitorización y control del proceso.
- Personal a cargo de la instalación.
- Gestión de los lodos generados.

En cuanto a los costos de inversión éstos se refieren al costo de adquisición de equipos y de obra civil, donde los primeros alcanzan, en general, un porcentaje superior frente al costo de obra civil asociado a la construcción de los tanques (reactor biológico + decantador) y tuberías, así como al coste de edificación de las oficinas y vallado perimetral.

LODOS ACTIVADOS (convencionales)					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos	Costo obra civil	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	10,4	390.000	210.000	600.000	24.000
<i>Caudal 2</i>	18	1.049.282	564.998	1.614.280	1.256.232
<i>Caudal 3</i>	36	1.478.103	795.902	2.274.005	1.398.773

Caudal 4	72	2.324.265	1.251.528	3.575.793	1.666.564
Caudal 5	112	675.415	567.713	1.243.129	66.592
Caudal 6	175	3.415.406	1.839.065	5.254.470	258.586
Caudal 7	180	4.770.908	2.568.950	7.339.858	2.596.120
Caudal 8	360	8.542.500	4.599.807	13.142.307	3.911.705
Caudal 9	468,7	11.182.725	6.021.467	17.204.192	4.371.240
Caudal 10	562,5	13.215.948	7.116.279	20.332.227	5.026.371
Caudal 11	656,2	14.232.559	7.663.685	21.896.244	5.674.295
Caudal 12	750	15.249.170	8.211.092	23.460.262	6.316.394
Caudal 13	843,7	16.265.781	8.758.498	25.024.279	6.951.299
Caudal 14	900	17.561.188	9.456.025	27.017.213	7.500.940
Caudal 15	937,5	17.282.392	9.305.904	26.588.296	7.580.365
Caudal 16	1.080	19.802.056	10.662.645	30.464.701	8.608.555
Caudal 17	1.800	24.938.711	13.428.537	38.367.248	13.272.691
Caudal 18	1.875	25.291.908	13.618.720	38.910.628	13.509.461
Caudal 19	4.687,5	30.350.290	16.342.464	46.692.754	n.d.
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -9,0855x^2 + 37.142x + 948.668$		Rango de aplicación: 10,4 a 1.875m ³ /h Costos de: 1.333.962 a 38.648.707 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = -0,3705x^2 + 7.366,4x + 1 \cdot 10^6$		Rango de aplicación: 18 a 1.800 m ³ /h Costos de: 1.132.475 a 13.059.100 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)		Costo (US \$)		
Cloro, como tratamiento final de desinfección.	0,03		1,5 por tableta de cloro (cada tableta permite tratar 5 m ³).		
Consumo energético planta					
<ul style="list-style-type: none"> • 0,37 – 2,59 kWh/m³ teniendo en cuenta que cada bomba consume 0,37 kWh/m³ y los tres primeros caudales definidos utilizan 1, 3 y 7 bombas respectivamente. Por otra parte las plantas de tratamiento de 2,5 y 10,4 m³/h utilizan bombas HP (1 y 16 respectivamente); teniendo en cuenta que cada bomba de este tipo consume 0,8 kWh/m³, los costos energéticos varían entre 0,8 – 12,8 kWh/m³. • Plantas con una capacidad de tratamiento para 112 m³/h su consumo energético se eleva hasta los 266 kWh/m³ tratado. 					

Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
0,11	6	
0,42-0,625	17,5	
1,25-1,875	35	
2,5	49	
10,4	100	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Una persona	Media (técnico)	24.000
Control y monitoreo requerido		
Recogida de lodos (representa un 15 % de los costos de operación)		
Vida útil de los equipos		
20 - 30 años, teniendo en cuenta el recambio de bombas, las cuales abarcan un rango de duración entre 7.000 – 10.000 horas.		

Datos eliminados para el desarrollo de las funciones de costos por su fuerte desviación frente a la tendencia general.

Los valores presentados en azul son datos estimados mediante las curvas de costes de inversión y de operación obtenidas a partir de los datos reales. En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo que estos costos equivalen al 65 y 35%, respectivamente, de los costos totales de inversión.

Para aumentar la eficiencia de remoción del nitrógeno y del fósforo del tratamiento de los lodos activados se acoplan tecnologías específicas para la remoción biológica de estos dos parámetros, como la nitrificación y desnitrificación, en el caso del nitrógeno total, y los procesos de remoción biológica del fósforo, para el fósforo total (lodos activados avanzados). En el anexo B se amplía la información de estos tratamientos. Con la inclusión de estos procesos terciarios, la eficiencia de remoción de ambos parámetros se incrementa las eficiencias mínima, promedio y máximo hasta: 70, 80 y 90% respectivamente. A continuación se indican los rangos de los costos asociados a la actualización de tratamientos de lodos activados convencionales con la instalación de sistemas de tratamiento biológico de nutrientes (nitrógeno y fósforo total):

- Para caudales de 94,4 m³/h a 1.275, 5 m³/h, los costos de inversión oscilan entre los 6.412.426 US\$ a 14.379.170 US\$.

Los costos de inversión por caudal, disminuyen a medida que aumenta el caudal de la siguiente forma:

- Caudales entre 15,75 a 157,5 m³/h: 54.217 US\$/(m³/h).
- Caudales entre 157,5 a 1575 m³/h: 13.546 US\$/(m³/h).
- Caudales mayores de 1575 m³/h: 4.573 US\$/(m³/h).

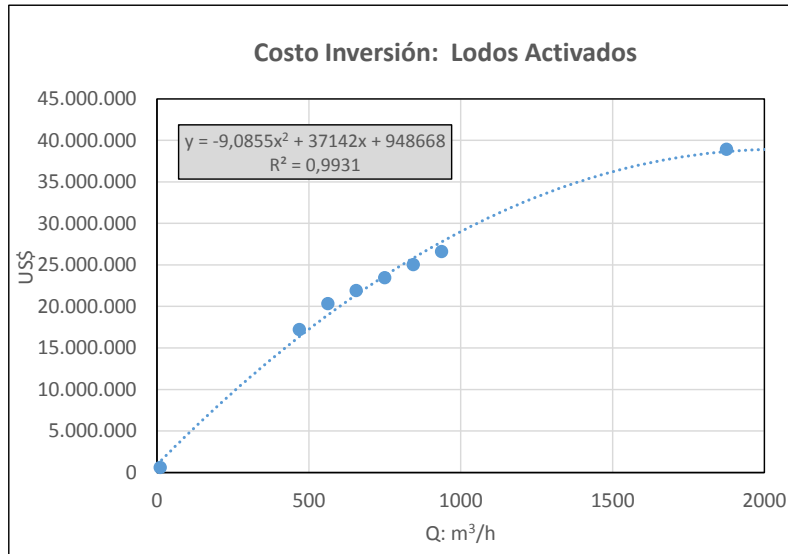
Cabe destacar que los costos asociados a la actualización de plantas existentes dependen de manera muy relevante de la situación específica de cada instalación (lugar año de la instalación, tipo de tratamiento pre-existente, estado de operación de la planta, etc.).

En cuanto a las instalaciones de menor tamaño, sería más recomendable la instalación de nuevas unidades que se suelen vender como módulos. Los costos de inversión de nuevas instalaciones se indican a continuación:

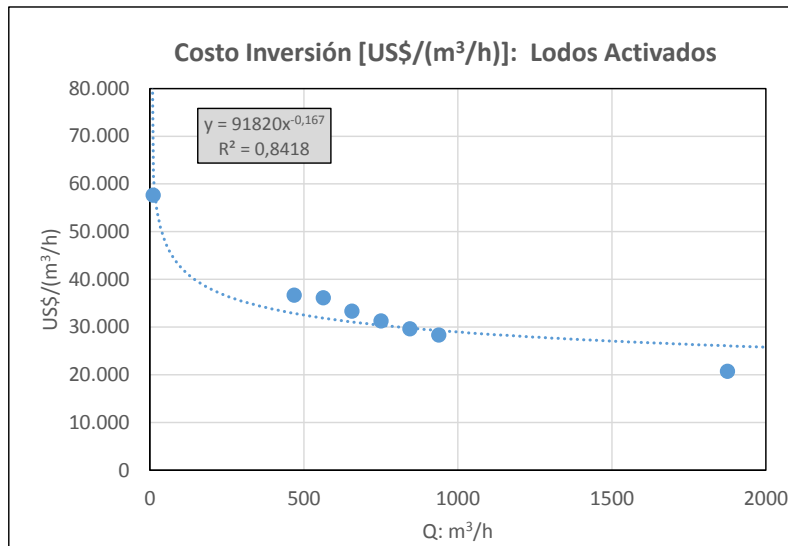
- Para caudales de 0,63 m³/h a 15,75 m³/h, los costos de inversión oscilan entre los 549.916 US\$ a 1.787.228 US\$.
- Para caudales de 0,63 m³/h a 15,75 m³/h, los costos de operación y mantención oscilan entre los 78.818 US\$ a 198.621 US\$.

- Representación de las funciones costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

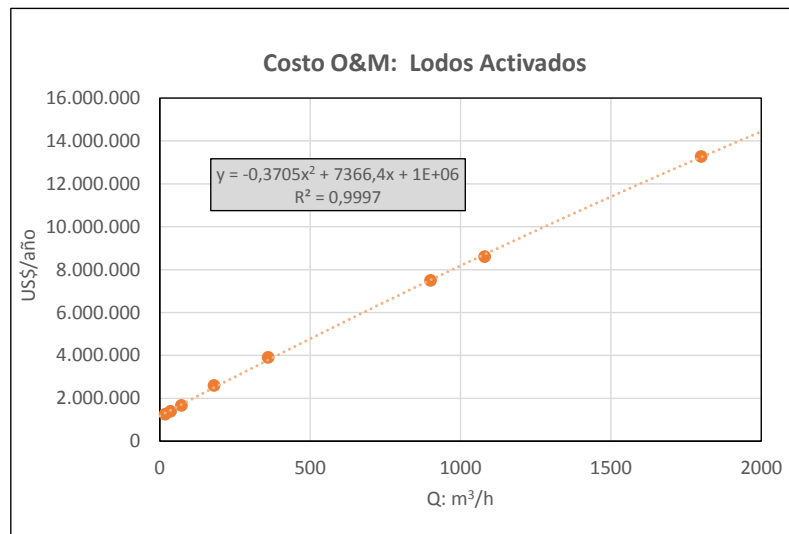


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

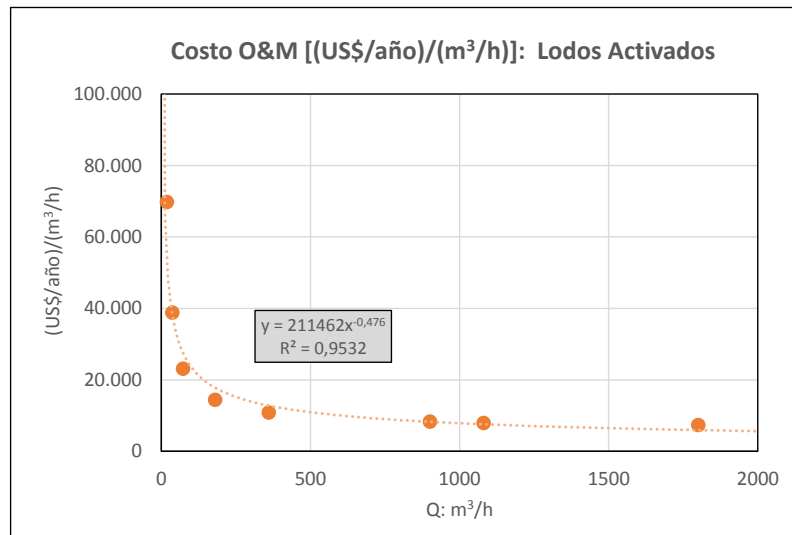


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aragón Cruz, C.A., 2009. Optimización del Proceso de Lodos Activos para Reducir la Generación de Fangos Residuales. Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente Universidad de Cádiz.
2. Bitton G., 1994. Wastewater Microbiology, New York: Willey-Liss.
3. Boletín de La Red de Agua y Saneamiento de Honduras, marzo 2009. Revista CHAC Edición nº 8.
4. Metcalf & Eddy Inc. U.S.A. 1991, Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse. McGraw-Hill.

5. OPS. 2005. "Guía para el diseño de tanques sépticos tanques Imhoff y lagunas de estabilización". Organización Panamericana de la Salud OPS, Lima.
6. Ortiz Omar Jorge, Enrique de Casas Eduardo, 2006. Nueva planta de lodos activados para el tratamiento de los efluentes líquidos del Complejo Industrial Refinería Luján de Cuyo. Petrotecnia.
7. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
8. Tchobanoglous G. y Burton, F. / Metcalf & Eddy, Inc., 1995. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización (3era Edición). Ed. MacGrawHill/Interamericana de España, S.A.U.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE COSTOS

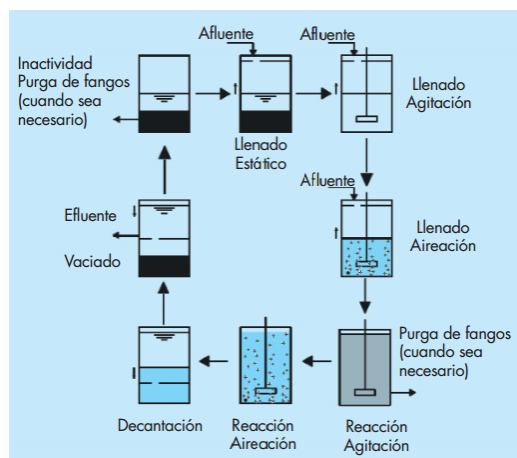
1. Decreto 58/2008 del Estado Español, por el que se aprueba el Plan Director de Saneamiento y Depuración 2007-2015 de la Comunidad Autónoma de La Rioja. Anexo 7^a: Estimación de costes de los sistemas de depuración de aguas residuales propuestos.
2. EPA (2007). Biological Nutrient Removal Processes and Costs. Office of Water, Washington, DC 20460, EPA-823-R-07-002.
3. Hoffmann, H., Platzer, C., Heppeler, D., Barjenbruch, M., Tränckner, J., Belli, P., 2001. Combination of anaerobic treatment and nutrient removal of wastewater in Brazil. In *Proceedings of the 3rd water world congress. Melbourne, Australia* (pp. 9-12).
4. Water pollution abatement technology and cost study. Editorial Ontario. Mayo de 1991.

TECNOLOGÍA DE BIORREACTOR DISCONTINUO SECUENCIAL (SBR)

- **Descripción de la tecnología:** Un reactor discontinuo secuencial (Sequencing Batch Reactor, SBR) es una variación del sistema de lodos activados. En contraste con el sistema continuo, el agua residual es introducida al reactor en un tiempo definido previamente. La degradación bioquímica de los contaminantes y la separación posterior de la biomasa microbiana se llevan a cabo en el mismo tanque. Las fases del proceso son secuenciales y se repiten de forma periódica. Para lograr el almacenamiento de los fosfatos, la degradación del material orgánico en forma de DBO y la nitrificación, el contenido o del tanque se oxigena a través de aireación. En caso de que se requiera desnitrificación se lleva a cabo una fase anóxica después de la fase aeróbica.

Los componentes más importantes de una planta SBR son el sistema de aireación (generalmente consta de difusores), un dispositivo flotante para la extracción, una bomba de extracción, peras de nivel, el tablero de mandos y PLC. Estos componentes le confieren una gran flexibilidad a los sistemas SBR en el tratamiento de flujos variables, ya que por medio de ellos se logra la homogenización de caudales, el tratamiento biológico, la sedimentación, la interacción mínima del operador y la opción de funcionar bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un mismo reactor. Para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. La operación de un reactor SBR se basa en el principio de llenado-descarga, el cual consiste en cinco pasos básicos que incluyen la (i) inactividad (ii) llenado (iii) reacción (iv) sedimentación (v) descarga.

Posteriormente a la aplicación de un pretratamiento, el agua residual entra al reactor parcialmente lleno, el cual contiene la biomasa microbiana adaptada a los componentes del agua residual. Una vez que el reactor se llena, este opera como un sistema convencional de lodos activados pero sin el flujo continuo de efluente. El exceso de biomasa microbiana se purga en cualquier punto del este ciclo. La purga frecuente hace que de un ciclo al siguiente se mantenga una relación de masas casi constante entre el sustrato efluente y la biomasa. En algunos casos, a continuación del reactor SBR, el agua residual es filtrada para remoción adicional de sólidos y desinfección.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	pH.
Normas de emisión:	Sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total, sólidos sedimentables, hidrocarburos totales, índice de fenol, fósforo total, sulfatos, pH.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO, fosfato, amonio, nitrógeno total, hidrocarburos totales, índice de fenol, fósforo total, nitritos, nitratos, sulfatos, pH.
Parámetros no normados:	DQO, compuestos refractarios, compuestos organoclorados, COD.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	Tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1 a 10 días, tiempo de retención celular de 10 a 15 días. Los tiempos de retención en la modalidad de reacción con aireación de un SBR pueden ser modificados para lograr la simulación de un sistema de estabilización por contacto con un tiempo de retención hidráulica (THR) de 6 a 14 horas (es decir de 6 a 4 ciclos por reactor al día) o, al punto opuesto del espectro, un sistema de tratamiento de aireación extendida con un THR de 18 a 36 horas.
Pretratamiento:	Desbaste, desarenado, sedimentación. El uso de sedimentadores puede ser recomendado por el fabricante del sistema SBR si el total de sólidos suspendidos totales (SST) o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) son mayores a valores entre 400 y 500 mg/L.
Temperatura:	20-25 °C
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Discontinuo.

- Eficiencia de remoción**

	DBO ₅ (%)	DQO (%)	SST (%)	Aceites y grasas (%)
Mínimo	85	80	85	55
Promedio	90	85	90	59
Máximo	95	90	95	63
	Hidrocarburos totales (%)	Índice de fenol (%)	Fósforo total (%)	COD (%)
Mínimo	70	85	88	60
Promedio	85	90	91,5	62
Máximo	80	95	95	65
	N total (%)			
Mínimo	90			
Promedio	95			
Máximo	100			

Eficiencia remoción no determinada: pH, sólidos sedimentables, sulfatos, fosfato, amonio, nitratos, nitritos, compuestos refractarios, compuestos organoclorados.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** Los sistemas SBR son utilizados comúnmente para caudales iguales o menores a 18,9 millones de l/d. La operación más sofisticada requerida para las plantas de SBR de mayor tamaño tienden a desestimar el uso de ese tipo de plantas para caudales mayores. Sin embargo, el sistema de SBR más grande del mundo es una planta ubicada en los Emiratos Árabes Unidos con una capacidad de 37,8 millones l/d.
- **Caudal de efluente a generar:** El caudal del efluente tratado depende de los tiempos asignados a los ciclos y, dentro de los ciclos, a la etapa de descarga en particular. De acuerdo con esto, el sobrenadante se descarga hasta un cierto nivel del reactor (que según el diseño que se adopte varía entre un 75% hasta un 15% del volumen del reactor), dejando en su interior los lodos activos, que corresponden al material donde se realizan las reacciones bioquímicas, los que a su vez deben ser retenidos para tratar la siguiente alimentación del reactor.
- **Reactivos utilizados según caudal:** Básicamente se necesita la concentración adecuada de microorganismos medidos dentro del sistema, la cual a su vez depende de las condiciones de operación de la planta. El rango de microorganismos de operación se encuentra en el rango de 2,0 – 3,0 kg de sólidos por m³ en peso seco.
- **Consumo de energía:** Generalmente en el rango de 1 y 2 kW·h/kg DBO₅. Cabe destacar que depende de la capacidad del sistema. Para pequeñas comunidades el consumo energético puede estar cerca de 1 kWh por habitante equivalente y día. Para instalaciones mayores la demanda energética específica se reduce a valores cercanos a 0,1 kWh por habitante equivalente y día.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes:
 - Las unidades de programación temporal y controles requiere un nivel mayor de sofisticación que los sistemas convencionales, en especial los de mayor tamaño.
 - Descarga potencial de lodos flotantes o sedimentados durante la fase de descarga o decantación del reactor en algunas configuraciones de SBR.
 - Taponamiento potencial de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos dependiendo del sistema de aireación utilizado por el fabricante.
 - Necesidad potencial de homogenización de caudales dependiendo de los procesos utilizados aguas abajo.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos? Sí,** para riego de áreas recreativas.
- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, los cuales pueden utilizarse posteriormente como abono o tratamiento posterior para la recuperación de metano y aprovechamiento energético.
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** 20 años en función de la mantención del reactor.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria elaboración de productos lácteos	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria productos químicos	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC.
Industria curtidos y textil	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl⁻.
Industria de bebidas	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de manipulación y transformación de carne y pescado (vegetales)	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria productos químicos (Refinerías y Petroquímicas)	SS, Aceite, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Sn, P_T, As, Cd, Cu, AOX, Fenoles, PAH, TOC, Cl⁻, CN⁻, F⁻.
Industria productos químicos (Farmacéutica)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC.
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	Aguasin	http://www.aguasin.com/
	DCL S.A	www.dcl.cl
Extranjero	Aqualia Industrial (España)	www.aqualiaindustrial.com
	Napier-Reid (Canadá)	www.napier-reid.com
	AWT Technologies (Canadá)	www.awt-technologies.com

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se aplica habitualmente en Chile. Un ejemplo son las plantas de tratamiento de aguas servidas de Melipilla, El Monte, Lo Chacón, El Paico Paine y Curacaví.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Se han descrito aplicaciones con éxito para aguas residuales municipales, industria vinícola y destilerías, aguas procedentes de lixiviados de vertederos, industrias de curtidos, aguas residuales hipersalinas,

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

industria papelera, industria láctea, aguas residuales de matadero e industria ganadera porcina, entre otras. Las aplicaciones más novedosas son las relacionadas con aguas residuales de la industria textil, de la industria azucarera y de la industria química (conteniendo compuestos fenólicos, BTX, TNT, etc.), habiéndose mostrado el potencial de los SBR en el tratamiento de aguas residuales industriales. La empresa Concha y Toro realiza el tratamiento de sus aguas residuales mediante esta tecnología.



Figura 1: Tratamiento SBR Concha y Toro (Chile).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Tratamientos físicos.

ESTIMACIÓN COSTOS

Para plantas pequeñas, de caudales menores a 0,02 MGD, el costo de inversión oscila entre los 4 y los 6 US \$ por galón de agua tratado. En el caso de plantas de mayor tamaño éstos serían de aproximadamente 2 ó 2,5 US \$ por galón de agua tratado.

El mantenimiento de este tipo de plantas es intensivo y requiere de empleados semi calificados para atender a los controles de rutina de manera continuada. El costo promedio de mantenimiento asciende a 350 M US\$ al año.

BIORREACTOR DISCONTINUO SECUENCIAL					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos	Costo obra civil	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	0,005	139.701	858.168	1.000.987	2.107
<i>Caudal 2</i>	0,01	139.588	857.473	1.000.197	3.025
<i>Caudal 3</i>	0,049	140.945	865.808	1.009.674	16.513

Tecnología de biorreactor discontinuo secuencial (SBR)

Caudal 4	1,89	153.846	881.151	1.037.294	7.556
Caudal 5	2,37	224.222	820.451	1.046.756	7.644
Caudal 6	2,81	53.316	327.515	380.831	7.725
Caudal 7	3,75	70.153	430.940	501.093	7.898
Caudal 8	4,69	86.990	534.365	621.355	8.071
Caudal 9	7,03	129.082	792.929	922.011	8.503
Caudal 10	9,38	168.367	1.034.256	1.202.623	8.939
Caudal 11	11,72	196.428	1.206.632	1.403.060	9.375
Caudal 12	14,06	224.490	1.379.007	1.603.497	9.813
Caudal 13	16,41	238.520	1.465.196	1.703.716	10.256
Caudal 14	18,75	252.551	1.551.384	1.803.935	10.698
Caudal 15	79	137.280	843.294	980.574	22.810
Caudal 16	157,7	554.826	3.419.934	3.916.926	40.711
Caudal 17	158	699.998	4.299.987	4.999.985	40.784
Caudal 18	174	281.570	1.729.642	2.011.212	44.713
Caudal 19	220,8	662.845	4.387.657	4.973.602	56.767
Caudal 20	237	565.188	3.471.870	4.037.058	61.133
Caudal 21	315	920.966	5.657.364	6.578.330	83.556
Caudal 22	315,4	923.074	5.616.199	6.439.499	83.677
Caudal 23	468,7	731.575	4.493.963	5.225.538	134.519
Caudal 24	500	1.215.176	7.464.656	8.679.832	145.996
Caudal 25	670,3	1.914.887	8.883.772	10.348.821	214.989
Caudal 26	750	1.549.866	9.520.605	11.070.471	251.070
Caudal 27	1.000	1.841.863	11.314.301	13.156.165	379.931
Caudal 28	4.167	n.d.	n.d.	n.d.	4.071.996

Molinos-Senante et al., 2012:

Costos de Inversión: $I(\text{€/población equivalente (p.e)})=8.258,9x^{-0.407}$ ($r^2=0,970$)

Costos de Operación y Mantenimiento: $O\&M(\text{€/p.e.})=309,4x^{-0.389}$ ($r^2=0,950$)

p.e.: población equivalente.

FUNCIONES DE COSTOS

x: Caudal en m^3/h ; y: Costo en US\$

Costos de inversión total	$y = -7,9285x^2 + 19.747x + 1.000.000^{(1)}$	Rango de aplicación: 2,81 a 1.000 m^3/h Costos de: 1.055.426 a 12.818.500 US\$
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 0,1903x^2 + 182,42x + 7.210,8$	Rango de aplicación: 0,005 a 4.167 m^3/h Costos de: 7.212 a 4.071.703 US\$

DESGLOSE DE VARIABLES		
Reactivos		
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$/año)
Oxígeno	-	821.277
Consumo energético planta		
<ul style="list-style-type: none"> • 0,6-1,2 kWh/kg DBO. • 13.687 kWh/año (≈1.295 US\$/año) para una instalación de la industria vinícola que produce 200.000 botellas al año (≈ 117 L/h). • Generalmente en el rango de 1 y 2 kW-h/kg DBO₅. 		
Área ocupada por la instalación		
	Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)
	0,625	40
	1,89	20
	5,04	48
	16	53
	189	595
	158	312
	221	442
	230	565
	315	625
	670	773
	820	703
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Para una instalación que sirva a 1000 personas con un caudal promedio de 5 m ³ /h se precisa de un operario (3horas/día)	Técnico operario Ingeniero de proceso	1.500 2.500
Control y monitoreo requerido		
Los sistemas de control del proceso son sencillos y se basan en la medición de la temperatura y de nivel, y el control del tiempo de ciclo de cada una de las etapas del proceso.		
Vida útil de los equipos		
Aproximadamente unos 20 años.		

Datos eliminados para el desarrollo de las funciones de costos por su fuerte desviación frente a la tendencia general.

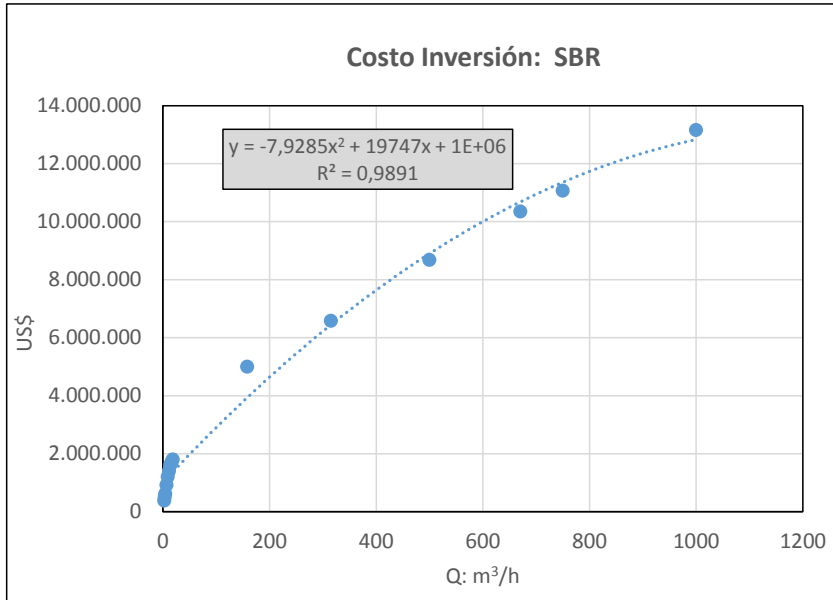
Datos extrapolados mediante el método de Williams donde el exponente n es igual a 0,6. Estos datos se han tenido en cuenta para obtener las curvas de costos.

Los valores presentados en azul son datos estimados mediante las curvas de costes de inversión y de operación. Estas curvas han sido obtenidas a partir de los datos reales y de los estimados mediante factor de capacidad. En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo que estos costos equivalen al 15 y 85%, respectivamente, de los costos totales de inversión, según indican los valores reales identificados (Caudal 4, 5, 16, 19, 22 y 25).

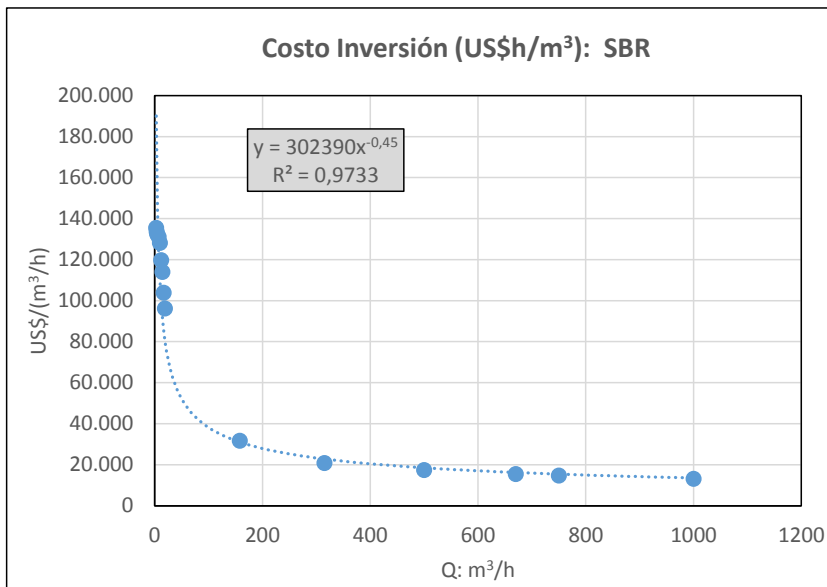
⁽¹⁾Para caudales inferiores a 10 m³/h la ecuación de costos de inversión no se ajusta adecuadamente. Por lo tanto el rango de aplicación se eleva a caudales superiores a 10 m³/h.

- Representación de las funciones de costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

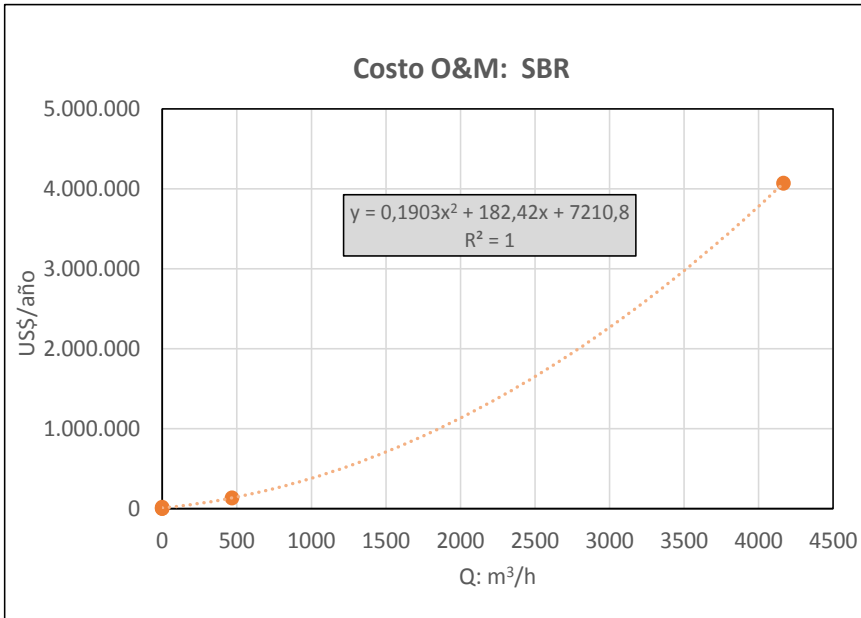


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

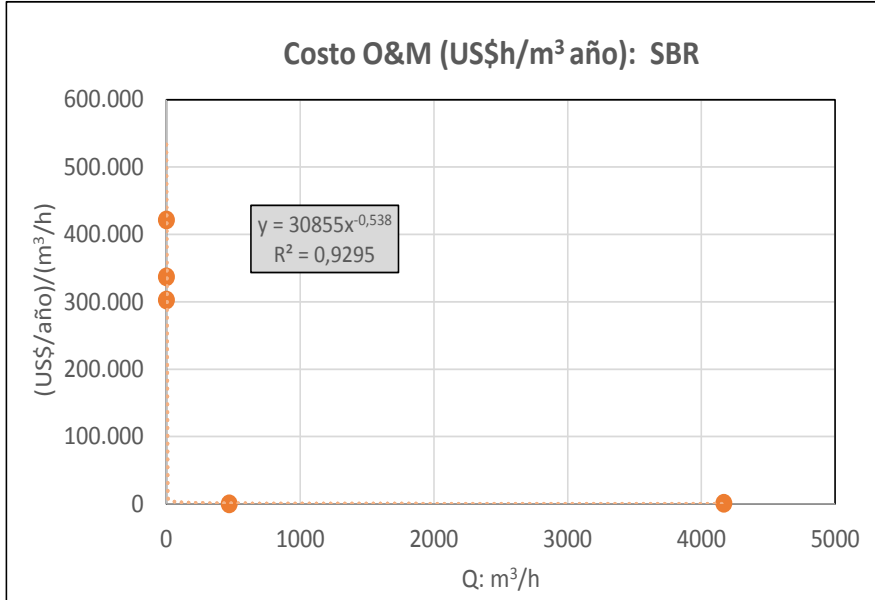


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AquaSBR Design Manual. Copyright 1995, Mikkelson, K.A. of Aqua-Aerobic Systems.
2. Barjenbruch, M. 2012. Wastewater disposal in rural areas. *Desalination and water Treatment* 39, 291-295.
3. Bortone, G., Gemelli, S., Rambaldi, A., Tilche, A.; 1992. Nitrification, Denitrification and biological phosphate removal In Sequencing Batch Reactors Treating Piggery Wastewater; *Wat. Sci. Tech.* V.26, N°5-6, pp. 977-985.
4. Bretti Mandarano, Jose Francisco, 2002. Sistema de Tratamiento SBR. Ingeniería Ambiental - Pontificia Universidad Católica Argentina.
5. Cho, B., Chang, C., Liaw, S., Huang, P.; 2000. The Feasible Sequencing Control Strategy of Treating High Strength Organic Nitrogen Removal with Sequencing Batch Biofilm Reactor. *Proceedings of the 2nd International symposium of Sequencing Batch Reactor Technology*, V.1, pp.163-171, France.
6. Dautan Rafael, M.L. Pérez, Contreras A., Marzana A., Rincones B, 2002. Diseño y Construcción de un Reactor Discontinuo Secuencial para la Remoción de DBO.
7. Ferrer Medina, Y., Ortega de Miguel, E., Salas Rodriguez, J.; 2012. Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas.
8. Rodríguez, A., Brito, A.; 2001. Post-treatment of a Brewery Wastewater Using a SBR, *Wat. Env. Research*, V.73, N°45, p. 45.
9. Torrijos, M., Moletta, R.; 1997. Winery wastewater depollution by Sequencing Batch Reactor"; *Wat. Sci. Tech.* V.35, N°1, pp. 249-250.

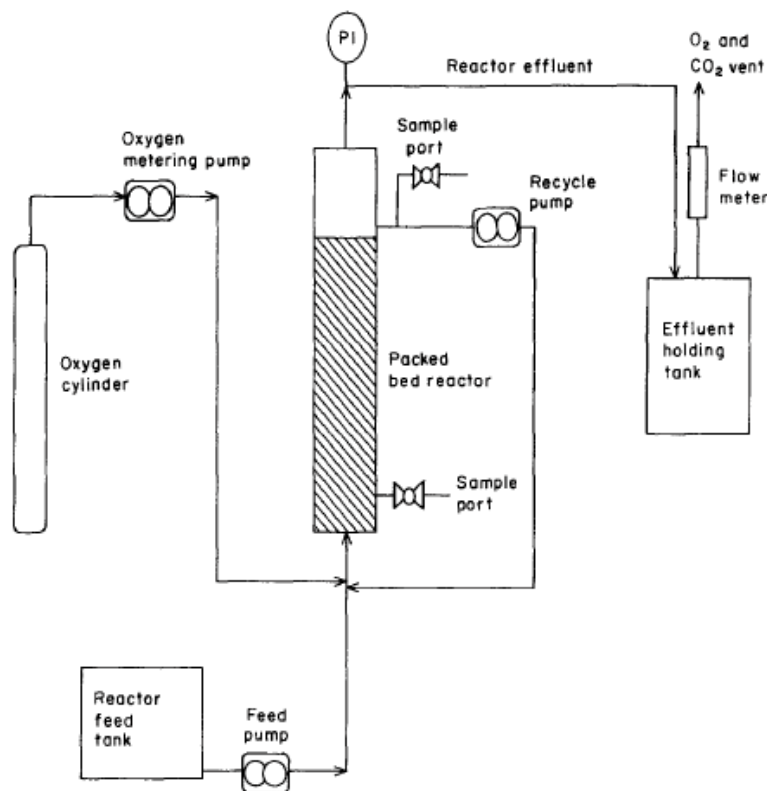
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

1. Decreto 58/2008 del estado Español, por el que se aprueba el Plan Director de Saneamiento y Depuración 2007-2015 de la Comunidad Autónoma de La Rioja. Anexo 7A: Estimación de costes de los sistemas de depuración de aguas propuestos.
2. Environmental Protection Agency, 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales - Reactores secuenciales por tandas.
3. Garrido-Baserba, M.; Reif, R.; Rodriguez-Roda, I.; Poch, M. A., 2012. Knowledge management methodology for the integrated assessment of WWTP configurations during conceptual design. *Water Science & Technology*, 66: 165-172.
4. Gonzalez Villaverde, R., 2013: <http://www.depuracionorg.com>.
5. Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernández-Sancho, F., Poch, M., 2012. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: environmental and economic aspects. *Science of the total environment*.
6. Sitio web: www.costwater.com.
7. Sitio web: [http://seia.sea.gob.cl/archivos/Bases de diseño PTR.pdf](http://seia.sea.gob.cl/archivos/Bases_de_diseño_PTR.pdf).

8. Vargas, J.C., Torres, J.A., 2008. Diseño, implementación y estudio hidrodinámico de un reactor biológico de cargas secuenciales de flujo a pistón para tratar aguas residuales sintéticas. Proyecto de Grado. Universidad de La Salle, Bogotá.

TECNOLOGÍA DE BIORREACTOR DE BIOMASA INMOVILIZADA (BRI)

Descripción de la tecnología: El sistema de reactor inmobilizado contiene microorganismos adaptados que tienen la capacidad enzimática de mineralizar productos químicos orgánicos. Estos microorganismos se inmobilizan sobre superficies de sustrato y se despliegan de forma modular. La colonización de carbono activado poroso por microorganismos adventicios conduce a la eliminación biológica de los residuos orgánicos, mientras que la inmobilización bacteriana implica el atrapar las células en una matriz. Una vez atrapadas, las células se encuentran fácilmente accesibles por el sustrato circundante. Como material de soporte sólido se suele utilizar quitina, celulosa, vidrio y tierra de diatomeas. El propósito del lecho empacado es proporcionar un área superficial grande para la colonización microbiana.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	No aplica.
Normas de emisión:	DBO ₅ , hidrocarburos volátiles, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST).
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO ₅ , aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST).

Parámetros no normados:	Orgánicos volátiles, pesticidas, alifáticos y aromáticos de petróleo, dicloruro de etileno, tricloroetileno, DQO, sólidos suspendidos volátiles (SSV).
--------------------------------	--

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	4 semanas, dependiendo del diseño del reactor y el tipo de microorganismos utilizados.
Pretratamiento:	Es necesario tratar el efluente (rejillas, desarenador) para aumentar la superficie de contacto con la biomasa inmovilizada.
Temperatura:	Hasta 55 °C
Selectividad:	No es selectiva.
Tipo de operación:	Continuo/discontinuo.

- **Eficiencia de remoción**

	Aceites y grasas (%)	DBO5 (%)	Hidrocarburos volátiles (%)
Mínimo	76,3	95	95
Promedio	79,45	97,5	97,5
Máximo	82,6	99	99
	SST (%)	SSV (%)	DQO (%)
Mínimo	92	92	45
Promedio	95	95	55
Máximo	98	98	65

Eficiencia remoción no determinada: orgánicos volátiles, pesticidas, alifáticos y aromáticos de petróleo, dicloruro de etileno, tricloroetileno.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** En función del diseño de la planta.
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente el 95% del caudal del efluente de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No se utilizan reactivos, a menudo se pueden agregar al medio algunas sales para mejorar el crecimiento de la biomasa.
- **Consumo de energía:** En función del sistema de bombeo.
- **Condiciones limitantes:** Temperatura, pH y otros parámetros físico-químicos.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Si, principalmente para la industria agroalimentaria. Dependerá en todos los casos del tipo de RIL y el grado de contaminación de éste. Generalmente esta tecnología se acopla con tratamientos primarios previos.

- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica
Emisiones	Metano

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, en función de la mantención de la instalación.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas.
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No Aplica	No Aplica
	UOP	http://www.uop.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se utiliza en Chile, especialmente en las industrias de celulosa, papel y cartón. Los reactores con biomasa inmovilizada presentan una mayor estabilidad para tiempos de retención hidráulicos (TRH) bajos, así como mayor velocidad de utilización de sustrato y de oxígeno que el reactor sin biomasa inmovilizada. La mejora de eficiencia con estos reactores se debe a que en dichos soportes se adhieren tanto los microorganismos como la materia orgánica evitando la pérdida del lodo, haciendo que el proceso sea más estable frente a las perturbaciones asociadas al proceso.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

La figura 2 muestra un tratamiento de efluente farmacéutico mediante un sistema combinado foto-fenton (POA) que utiliza energía solar con un BRI inoculado con un lodo activo. Esta planta logra tratar 500 l/h y presenta una eficiencia de remoción de un 95 % del contaminante orgánico metilfenilglicina. El 50% del contaminante es mineralizado mediante el POA y el otro 50% por el tratamiento biológico.



Figura 1: Tecnología de biorreactor de células inmovilizadas UOP.



Figura 2: Combinación fotofenton-BRI, Almería (España).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

El acoplamiento más común y actualmente desarrollándose en proyectos a escala piloto y líneas de investigación, es el acoplamiento de procesos avanzados de oxidación (POAs) con tratamientos biológicos, en este caso, BRI.

ESTIMACIÓN COSTOS

Los costes asociados a está tecnologías se basan principalmente en la inversión inicial y los costes del personal de mantenimiento, ya que en general este tipo de plantas se abastece de la electricidad que generan mediante el reaprovechamiento del biogás.

BIORREACTOR DE BIOMASA INMOBILIZADA (BRI)					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	2,81	90.197	210.459	300.656	27.059
<i>Caudal 2</i>	3,75	117.734	274.713	392.447	35.320
<i>Caudal 3</i>	4,69	145.317	339.073	484.390	43.595
<i>Caudal 4</i>	7,03	215.470	502.763	718.233	64.641
<i>Caudal 5</i>	9,38	285.623	666.454	952.077	85.687
<i>Caudal 6</i>	11,72	350.765	818.452	1.169.217	105.230
<i>Caudal 7</i>	14,06	400.874	935.374	1.336.248	120.262
<i>Caudal 8</i>	16,41	476.038	1.110.756	1.586.794	142.811
<i>Caudal 9</i>	18,75	551.202	1.286.139	1.837.341	165.361
<i>Caudal 10</i>	23,44	576.257	1.344.599	1.920.856	172.877
<i>Caudal 11</i>	28,13	606.322	1.414.752	2.021.075	181.897
<i>Caudal 12</i>	32,81	651.421	1.519.982	2.171.403	195.426
<i>Caudal 13</i>	37,50	701.530	1.636.904	2.338.434	210.459
<i>Caudal 14</i>	50,00	833.700	1.945.299	2.778.999	250.110

Tecnología de reactor de biomasa inmovilizada (BRI)

Caudal 15	100	1.263.652	2.948.522	4.212.174	379.096
Caudal 16	250	2.189.735	5.109.382	7.299.117	656.921
Caudal 17	500	3.319.018	7.744.375	11.063.393	995.705
Caudal 18	750	4.233.157	9.877.365	14.110.522	1.269.947
Caudal 19	1.000	5.030.690	11.738.277	16.768.968	1.509.207
ESTIMACIÓN COSTOS⁽¹⁾					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -11,031x^2 + 26.466x + 980.700$		Rango de aplicación: 10 a 1.000m ³ /h Costos de: 1.244.257 a 16.415.700 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = -0,9928x^2 + 2.382x + 88.263$		Rango de aplicación: 10 a 1.000 m ³ /h Costos de: 111.984 a 1.477.463 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$/año)			
No aplica	-	-			
Consumo energético planta					
El consumo energético de las plantas de digestión anaerobia es difícil de generalizar, ya que éstas además de recibir suministro de la red pueden autoabastecerse e incluso vender energía generada a través de reaprovechamiento del biogás producido.					
Área ocupada por la instalación (Datos referentes a una instalación a escala piloto)					
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)				
n.d.	n.d.				
Personal calificado necesario para la planta					
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)			
Mantenimiento (3 turnos/día)	Técnico operario	20.000 (por persona)			
Jefe de planta	Técnico ingeniero	35.000			
Control y monitoreo requerido					
Se requiere control de pH, nivel, temperatura, Ácidos Grasos Volátiles, potencial redox, alcalinidad y AOVs. El biogás requiere control de la composición (H ₂ S, CH ₄ y CO ₂)					
Vida útil de los equipos					
Aproximadamente 20 años.					

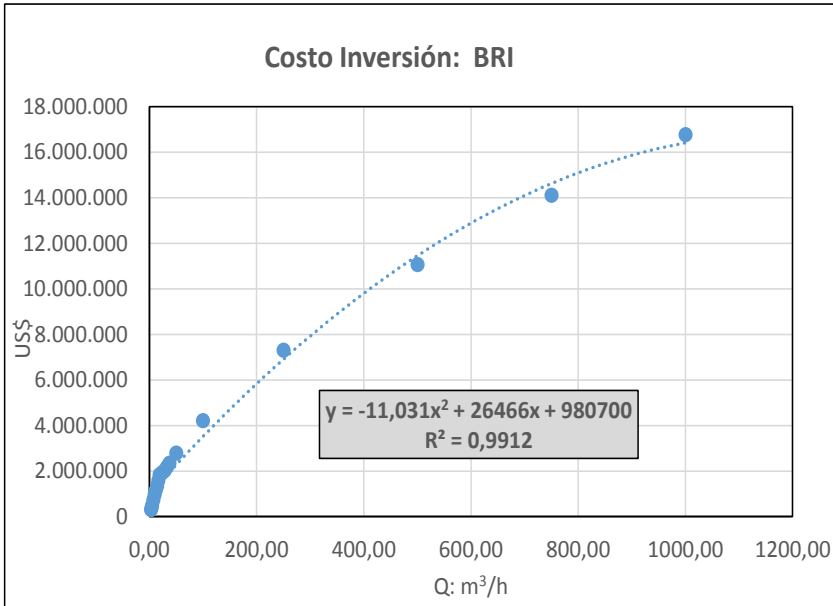
Datos extrapolados mediante el método de Williams donde el exponente n es igual a 0,6 partiendo del Caudal 13. Estos datos se han tenido en cuenta para obtener las curvas de costos.

La falta de datos específicos para los costos de operación y mantenimiento ha llevado a que éstos hayan sido estimados a partir de la relación de (Costos inversión/C. O&M) obtenida con los datos de la tecnología de Metanización ($C_{O&M}=C_{INV} \cdot 0,09$), ya que al ser tecnologías muy similares su relación de costos no variará significativamente (datos presentados en azul). En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo que estos costos equivalen al 30 y 70%, respectivamente, de los costos totales de inversión.

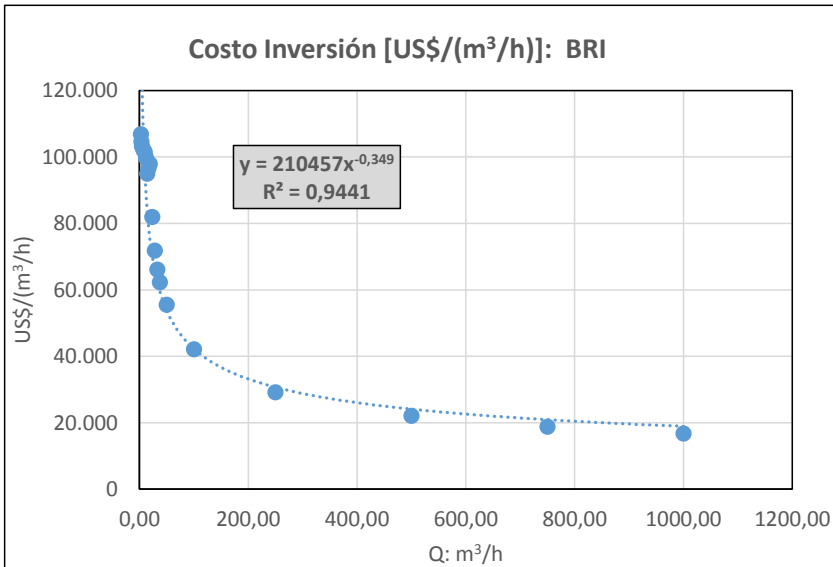
⁽¹⁾Para caudales inferiores a 10 m³/h las funciones de costos no se ajustan adecuadamente. Por lo tanto, ambas ecuaciones serán válidas entre 10 y 1.000 m³/h.

- Representación de las funciones costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

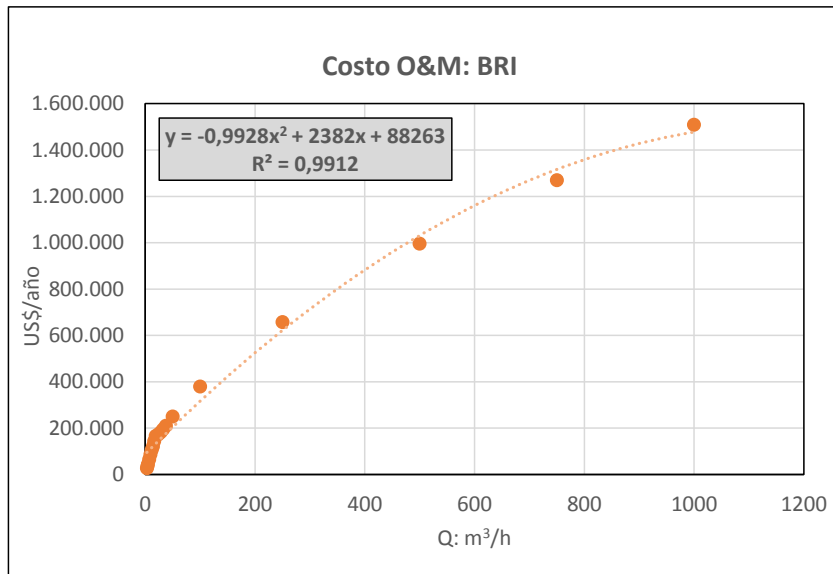


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

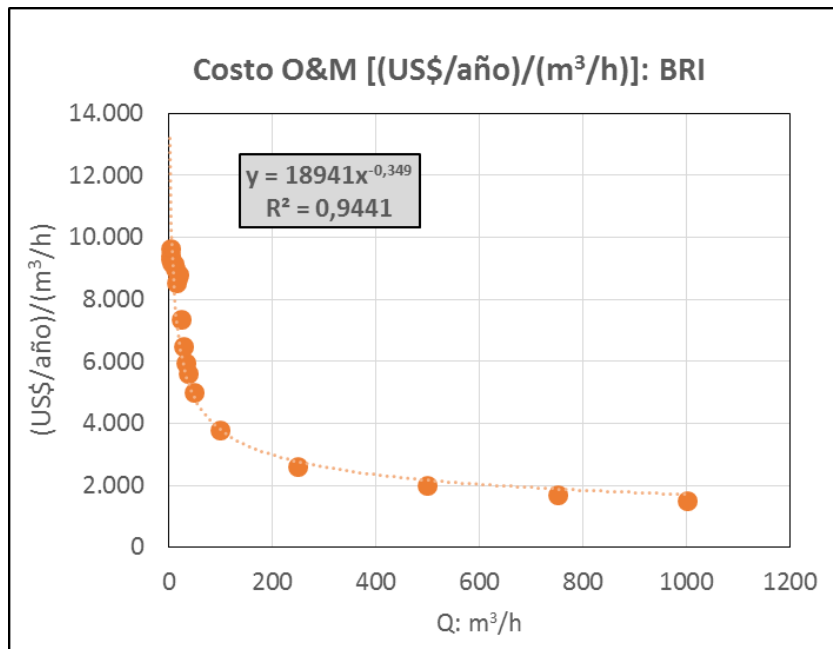


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



BIBLIOGRAFÍA

1. Díez Jerez M. Cristina, 2002. XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Tratamiento combinado de lodos activados y lecho fijo sumergido para tratar efluente de celulosa kraft blanqueada. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
2. García – Gámez, C., P. Gortáres-Moroyoqui y P. Drogui, 2011. Tratamientos biológicos y de oxidación avanzada combinados para una solución a la biotecnología ambiental, *Ide@s CONTYCETG*, 6 (71), pp. 585-605.
3. Koppe P., Imhoff K., R. Herkelmann, H. & Sebesta G., 1979. Some practical aspects of the "biocarbon process", *Water Research* 13, 865-879.
4. Latoszek, A. & Benedek, A. 1979. Some aspects of the microbiology of activated carbon treating domestic wastewater, *Environmental Science & Technology*, 13, pp. 1285-1287.
5. Portier R, Miller G. 1991. Immobilized Microbe Bioreactors for Waste Water Treatment. *Waste Management & Research*. 9, 445-451.
6. UOP. 2013. UOP Immobilized Cell Bioreactor (ICB) Technology. UOP.
7. Weber, W. J., Pirbazari, M. & Melson G. L., 1978. Biological growth on activated carbon: an investigation by scanning electron microscopy. *Environmental Science & Technology*, 12, pp. 817-819.

BIBLIOGRAFÍA COSTOS

1. Decreto 58/2008 del estado Español, por el que se aprueba el Plan Director de Saneamiento y Depuración 2007-2015 de la Comunidad Autónoma de La Rioja. Anexo 7A: Estimación de costes de los sistemas de depuración de aguas propuestos.

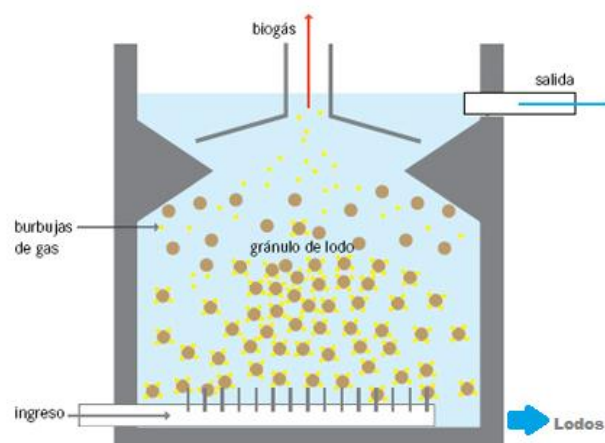
TECNOLOGÍA REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS (UASB)

- **Descripción de la tecnología:** El reactor UASB es un proceso de tanque simple que consta de un recipiente en el que el agua residual fluye hacia arriba a través de un lecho de lodo anaeróbico compuesto de comunidades microbianas inmovilizadas. El agua residual fluye desde el fondo del reactor a través de las tuberías que se distribuyen a lo ancho del reactor. A medida que el agua residual pasa a través del lecho de lodo y entra en contacto con los microorganismos se produce la degradación anaeróbica.

La capa de lodos está formada por gránulos (0,5 a 2 mm de diámetro) de microorganismos, los cuales por su propio peso se resisten a ser arrastrados por el flujo ascendente. La retención de los gránulos (biomasa) se ve facilitada por la presencia de un separador de tres fases (sólido-líquido-gas) situado en la parte superior del reactor, donde se separa la fase acuosa de los sólidos del fango y del gas. Los microorganismos de la capa de lodos degradan los compuestos orgánicos liberando gases (metano y dióxido de carbono) como resultado. Las burbujas ascendentes mezclan los lodos sin necesidad de agitación mecánica.

La producción de gas metano es el paso más lento y sensible del proceso de digestión anaerobia, ya que requiere condiciones ambientales específicas para el crecimiento de las bacterias metanogénicas. Las paredes inclinadas del reactor vuelcan el material el cual alcanza la superficie del tanque, mientras el efluente clarificado es extraído por la parte superior del tanque. Después de varias semanas de uso, se forman gránulos más grandes de lodos que a su vez, actúan como filtros de partículas más pequeñas del efluente ascendente por la capa de lodos. El gas que asciende hacia la superficie es recolectado en un domo y puede ser usado como fuente de energía (biogás). Se debe mantener una velocidad ascendente de 0,6 a 0,9 m/h para mantener la capa de lodos en suspensión.

El rango de aguas residuales tratadas con éxito utilizando la tecnología UASB está en constante expansión al incluir no sólo aguas residuales industriales de alta resistencia, sino también las recalcitrantes, tóxicas y desechos de baja resistencia.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	No aplica
Normas de emisión:	DBO, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, sulfato.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, sulfato.
Parámetros no normados:	DQO, tricloroetileno (TCE), triclorotolueno, 2,4 diclorofenol, 2-clorofenol, hexaclorociclohexano, 2,4 diclorofenol, 1, 1, 2,2-tetracloroetano.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	El tiempo de retención hidráulico presenta un rango de 1 a 2 días.
Pre-tratamiento:	Cribado, desarenado, sedimentación, filtración.
Temperatura:	Temperaturas en el rango de 15°C – 45 °C
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Continuo

- Eficiencia de remoción**

	DBO (%)	SST (%)	Fósforo total (%)	DQO (%)
Mínimo	65	60	30	50
Promedio	72,5	69	35	71,5
Máximo	80	78	40	93
	Nitrógeno total (%)	Sulfato (%)	TCE (%)	CV (%)
Mínimo	n.d	48	74	5
Promedio	n.d	73	82	50
Máximo	10	98	90	95
	PCE (%)	c-DCE (%)	Triclorotolueno (%)	2,4 diclorofenol (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	95
Promedio	n.d	n.d	n.d	97
Máximo	90	20	68	99
	2-clorofenol (%)	Hexaclorociclohexano (%)	1,1,2,2-tetracloroetano (%)	
Mínimo	n.d	n.d	n.d	
Promedio	n.d	n.d	n.d	
Máximo	96	96	98	

(n.d: no definido).

- Capacidad de tratamiento por caudal:*** Se manejan volúmenes de 60 a 25.000 m³ para caudales entre 5 y 50 l/s y 0 - 20 kg DQO/m³d.

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

- **Caudal de efluente a generar:** aproximadamente un 95 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No aplica.
- **Consumo de energía:** El consumo de energía no es muy alto dado el sistema no requiere agitación mecánica. El consumo de energía para transferir oxígeno se encuentra alrededor de 1 kWh/kg O₂ consumido.
- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes son las siguientes;
 - Se necesita un periodo de arranque largo (6 meses) si no se cuenta con lodo de inóculo. Se requiere un inóculo granular para arranques rápidos.
 - Es difícil mantener las condiciones hidráulicas adecuadas (se debe equilibrar el flujo ascendente y el índice de sedimentación).
 - El tratamiento puede ser inestable con cargas hidráulicas y orgánicas variables.
 - Es necesario que personal experto se encargue del diseño y la supervisión de la construcción.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Si, utilización como agua de riego en áreas verdes.

- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, que pueden utilizarse como compost para fertilización de campos.
Emisiones	Biogás, utilizado como aprovechamiento energético.

- **Vida media de la tecnología:** 10-20 años.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Ganadería (cría de animales)	DBO ₅ ⁻ , N _T , P _T , Cu, Zn y TOC (Carbono orgánico Total).
Industria elaboración de productos lácteos	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No se detectan	No aplica
Extranjero	BIOTEC (Bélgica, Malasia, Colombia)	http://www.bio-tec.net/
	BIOTHANE (multinacional)	http://www.biothane.com/en/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

La tecnología se encuentra en Chile, especialmente en el tratamiento de efluentes agroalimentarios.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Algunas plantas de tratamiento de aguas servidas mediante UASB en Latinoamérica son las siguientes: (1) Cañaveralejo, Cali, Colombia, 1983 (UASB 60 m³) (2) Cetesb, Sao Paulo, Brasil, 1987 (UASB 120 m³) (3) El Vivero, Cali, Colombia, 1988 (UASB 1.000 m³) (4) Kampur 1, India, 1989 (UASB 1.200 m³) (5) Río Frío, Bucaramanga, Colombia, 1991 (UASB 6.600 m³) (6) San Antonio, Sololá, Guatemala, 1995 (UASB 325 m³) (7) San Bartolo, Sololá, Guatemala, 1998 (UASB 660 m³) (8) Atuba, Brasil (UASB 25.000 m³) (9) Piracicamirina, Brasil (UASB 8.300 m³) (10) Restrepo, Colombia, 2000 (UASB 700 m³).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología UASB funciona como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero generalmente no logra eficiencias de remoción superiores al 85%. Aunque este porcentaje representa una buena eficiencia de remoción, no suele ser suficiente para que los efluentes tratados cumplan con la normativa de descarga. En general, el tratamiento posterior es un sistema aerobio tradicional, como lodos activados, filtros percoladores o lagunas con el objeto de aumentar el porcentaje de remoción de los parámetros tratados.

ESTIMACIÓN COSTOS

Se trata de un sistema de tratamiento de aguas directo y de bajo coste. Los costos de inversión son del orden de 20.000 US \$ por litro y por segundo tratado, mientras que los costos de operación son del orden de 1 a 2 US \$ por vivienda y por mes.

REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS (UASB)					
	Caudal de diseño de planta (m ³ /h)	Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
Caudal 1	125	198.144	337.380	535.524	336.637
Caudal 2	167	237.230	403.932	641.162	440.424

<i>Caudal 3</i>	208	272.808	464.510	737.318	545.037
<i>Caudal 4</i>	250	326.517	555.962	882.479	656.631
<i>Caudal 5</i>	292	378.180	643.928	1.022.108	744.881
<i>Caudal 6</i>	333	413.243	703.629	1.116.872	878.145
<i>Caudal 7</i>	375	446.050	759.491	1.205.541	964.884
<i>Caudal 8</i>	417	484.808	825.485	1.310.293	1.052.105
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total</i>	$y = 2.720,3x + 194.550$		Rango de aplicación: 125 a 417 m ³ /h Costos de: 534.588 a 1.328.915 US\$		
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>	$y = 2.490x + 27.872$		Rango de aplicación: 125 a 417 m ³ /h Costos de: 339.122 a 1.066.202 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)			
No aplica	-	-			
Consumo energético planta					
<ul style="list-style-type: none"> • 0,3 kW·h/kg DBO₅. • El consumo de energía para transferir oxígeno se encuentra alrededor de 1 kWh/kg O₂ consumido. 					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)		
-			1 m ² por habitante equivalente		
Caudal (m ³ /h)			Volumen reactor (m ³)		
7,2			60		
19,8			120		
37,8			325		
79,2			660		
82,8			700		
162			1.000		
208,8			1.200		
1.152			8.300		
1.332			6.600		
3.420			25.000		
Personal calificado necesario para la planta					
Número de personas		Especialización del personal		Costo (US \$/año)	
Encargado de mantenimiento y encargado de control.		Técnico operario		1.500	
		Técnico ingeniero		2.500	

Control y monitoreo requerido

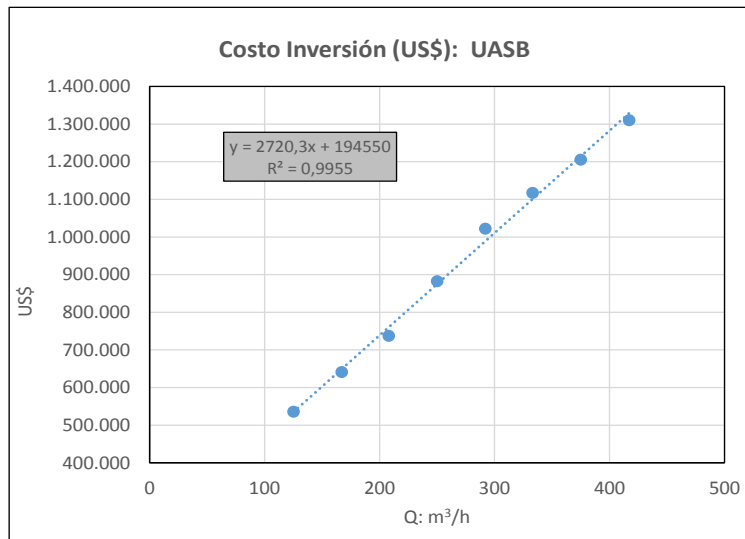
No se precisa de sofisticados sistemas de control por lo que su costo es reducido. En general se requieren sistemas de control de nivel, temperatura, pH, alcalinidad, AGVs y potencial redox.

Vida útil de los equipos

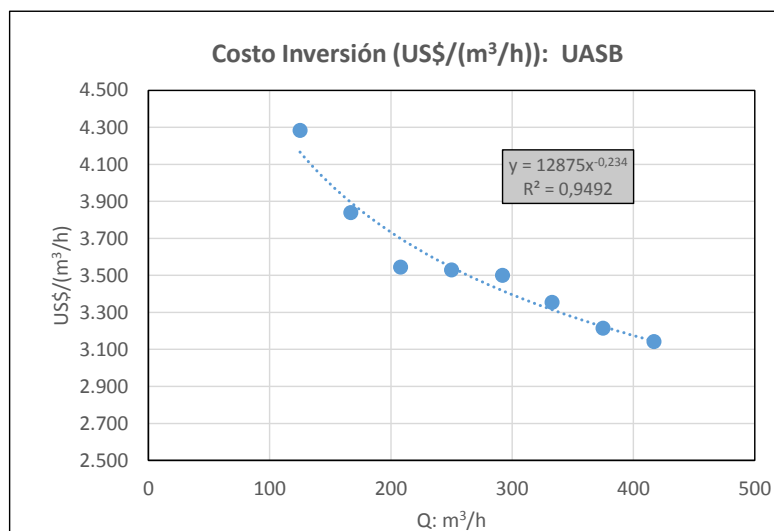
Entre 10 y 20 años.

- **Representación de las funciones costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

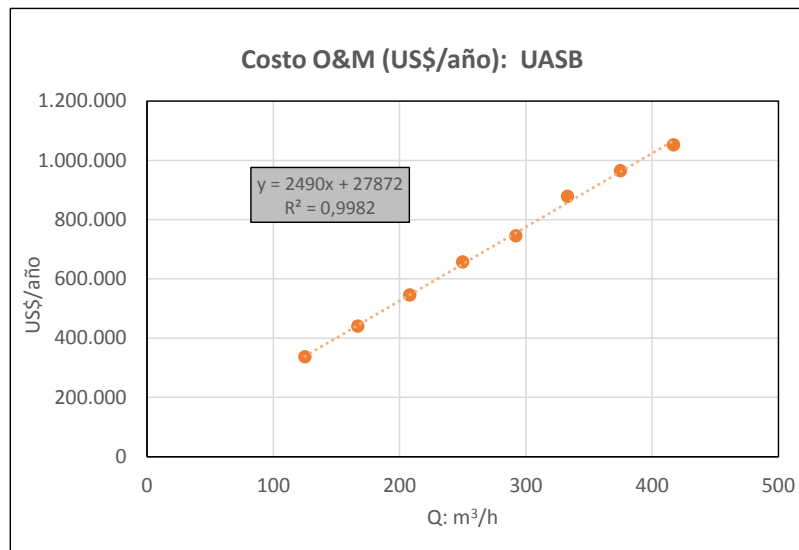


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

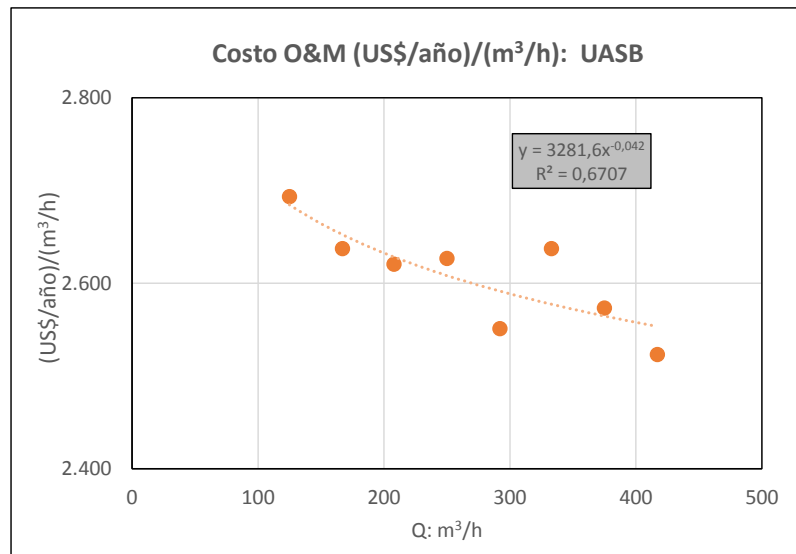


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Basu, D.; 2010. Biodegradation of 1, 1, 2, 2-tetrachloroethane in up flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. Bioresource Technology 101: pp. 21-25.
2. BESEL, S.A. (Departamento de Energía). Biomasa: Digestores anaerobios, 2007. IDAE. ISBN-13: 978-84-96680-21-0.

3. Caicedo Mess, F.J., 2006. Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. Universidad Nacional de Colombia.
4. Chaux Guillermo, Rojas Gloria L., Bolaños Lina, Jan. /June 2009. Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso: Municipio de El Tambo (Colombia), Rev. Bio. Agro vol.7 no.1 Popayán.
5. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. Tratamiento de aguas residuales. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
6. García Solares, M. y Guerrero Barajas C., 2010. Biodegradación anaerobia de tricloroetileno (TCE) en un reactor UASB. Instituto Politécnico Nacional Unidad profesional interdisciplinaria de biotecnología.
7. Jordão, E.P. y Além Sobrinho P., 2004. Investigación y Experiencia con el postratamiento para Reactores UASB en Brasil. Agua Latinoamérica.
8. Monge Silvia, Rodrigo Juan Carlos, Sanz Joan. Tratamientos anaerobios Biothane para aguas residuales industriales, Veolia Water Solutions & Technologies Ibérica (VWSI).
9. Philippe Conil. La tecnología anaeróbica UASB en el tratamiento de aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina. Empresa Biotec.
10. Sitio web: <http://www.interseg.net/index.php/nuestros-productos/tratamiento-de-aguas-esiduales/reactor-uasb.html>.
11. Sponza, D.T.; 2001. Rapid granulation and sludge retention for tetrachloroethylene removal in an up flow anaerobic sludge blanket reactor. Environmental Engineering Department, Engineering Faculty, Dokuz Eylül University, Buca Kaynaklar Campus, Izmir, Turkey.
12. Sponza, D.T.; 2005. Treatment of trichlorotoluene in an anaerobic/aerobic sequential reactor system. Process Biochemistry 40: pp. 69-82.
13. Sponza, D.T.; 2006. Anaerobic granule formation and tetrachloroethylene (TCE) removal in an up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Environmental Engineering Department, Engineering Faculty, Dokuz Eylül University, Buca Kaynaklar Campus, Izmir, Turkey.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

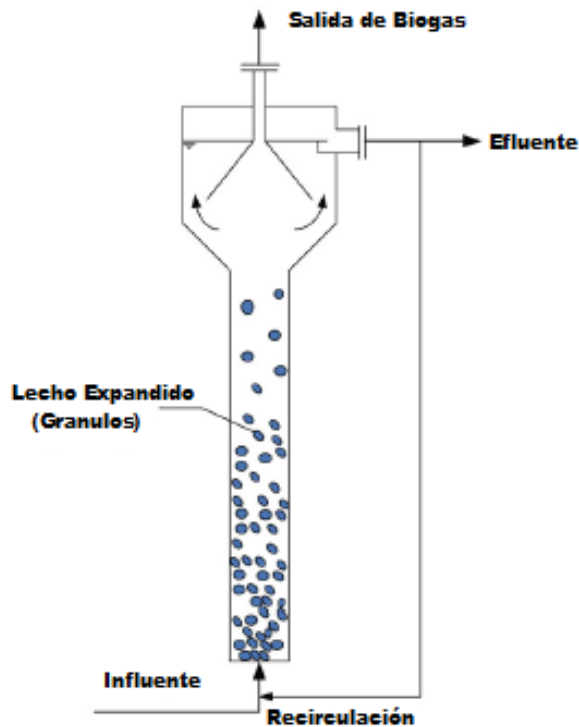
1. Buyukkamaci, N., Koken, E., 2010. Economic evaluation of alternative wastewater treatment plant options for pulp and paper industry. Science of the total environment 408; 6070-6078.
2. Conil, P., 2008. La tecnología anaerobia UASB en el tratamiento de las aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina.
3. Sitio web: www.proyectocarmac.org

REACTOR DE LECHO GRANULAR EXPANDIDO (EGSB)

Descripción de la tecnología: El equipo consiste en un tanque cerrado, que contiene un barro orgánico “granular” donde la flora microbiana anaeróbica, convenientemente aclimatada, se encuentra adherida o atrapada. El líquido crudo a tratar percola en forma ascendente a través del manto de barros, lográndose la rápida degradación de la fracción orgánica soluble y coloidal. Estas condiciones permiten operar con bajos tiempos de residencia hidráulica para el líquido y altos tiempos de residencia para los sólidos (del orden de varios meses) posibilitando su estabilización.

A medida que el líquido residual circula por el reactor éste se va depurando por la acción de las bacterias anaeróbicas, produciéndose burbujas de biogás que realizan un efecto de agitación suave beneficioso para el proceso biológico que se desarrolla dentro del tanque.

En la parte superior del reactor se coloca un separador de tres fases (sólido - gas - líquido). Este dispositivo permite retener el biogás producido para su conducción, por canales, hacia el exterior para su posterior consumo. También se tiene una zona libre de burbujas de biogás, donde se produce la sedimentación y retorno hacia el biodigestor de una parte de los sólidos que pueden ser arrastrados por el efluente hacia la parte superior, obteniéndose de esta forma un efluente más depurado. El exceso de barro generado estabilizado en el interior del biodigestor será descartado periódicamente, aprovechándolo posteriormente como carbono orgánico.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Color.
Normas de emisión:	Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, nitrógeno total.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, nitrógeno total, nitrito, color, amonio.
Parámetros no normados:	DQO, COD.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	0,5 – 2 días.
Pre-tratamiento:	Cribado, desarenado, sedimentación, filtración.
Temperatura:	35 °C
Selectividad:	Selectivo.
Tipo de operación:	Continuo o discontinuo.

- Eficiencia de remoción**

	Color (%)	DQO (%)	SST (%)	Aceites y grasas (%)
Mínimo	80	67	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	n.d	n.d
Máximo	95	93	90	85
	Nitrógeno total (%)	Amonio (%)	Nitrito (%)	COD (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	91
Promedio	n.d	n.d	n.d	93,5
Máximo	54	22	99	98

(n.d: no definido).

- Capacidad de tratamiento por caudal:** 15- 35 kg DQO/m³/d. No obstante, estos sistemas son capaces de tratar hasta 1.000 kg DQO/d por módulo de reactor para un caudal máximo de 480 m³/d.
- Caudal de efluente a generar:** aproximadamente un 95 % del caudal de entrada.

- **Reactivos utilizados según caudal:** No utiliza reactivos, simplemente transferencia de oxígeno a razón de $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$.
- **Consumo de energía:** El consumo energético de las plantas de digestión anaerobia es difícil de generalizar, ya que éstas además de recibir suministro de la red pueden autoabastecerse e incluso vender energía generada a través de reaprovechamiento del biogás producido.
- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes son las siguientes:
 - Emisión de olores desagradables (H_2S).
 - Sensibilidad a bajas temperaturas, al cambio brusco de pH y a la presencia de oxígeno disuelto.
 - Proceso de arranque lento y largos períodos para la estabilización del inóculo.
 - Calidad de efluente inferior a los procesos aeróbicos. Por ello se requiere un postratamiento para cumplir con los niveles de calidad usualmente exigidos.
 - La agresividad de algunos subproductos requiere materiales anticorrosión.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Generalmente el efluente de reactores EGSB necesita un tratamiento posterior para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos. Este postratamiento puede referirse a sistemas convencionales aerobios como lagunas de estabilización, plantas de fangos activos y otros.

- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica.
Emisiones	CH_4 , CO_2 , y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico, mercaptano e hidrógeno.

- **Vida media de la tecnología:** 10-20 años.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria de bebidas	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ y PO_4^{2-}, Cloruros.
Industria elaboración de productos lácteos	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ y PO_4^{2-}, Cloruros.
Industria de productos químicos	pH, DQO, TOC, S^{2-}, PO_4^{3-}, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, HCH, tolueno, etilbenceno y xileno.

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T , Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, y TOC.
Ganadería (cría de animales)	DBO ₅ , N _T , P _T , Zn, Cu y TOC.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Veolia	http://www.veoliawaterst.cl/
Extranjero	ADI Systems Inc. (Canada)	http://www.adisystemsinc.com/
	Biothane Corporation (multinacional)	http://www.biothane.com/en/
	Paques (Países Bajos)	http://en.paques.nl/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

No se detectan casos de aplicación en Chile.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

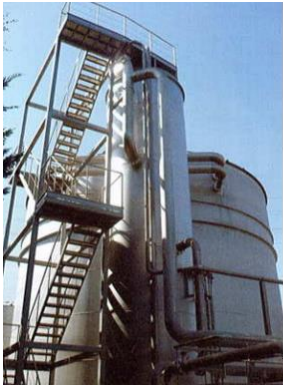


Figura 1: EGSB en las instalaciones de Unicer (Portugal).

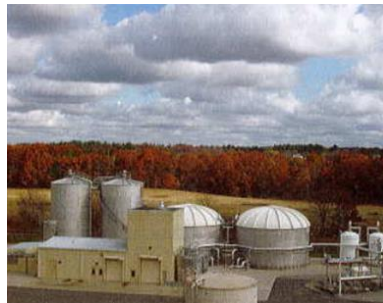


Figura 2: EGSB en la cervecería Anheuser Busch (EEUU).



Figura 3: EGSB en la cervecería Cesu Alus (Letonia).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

El reactor EGSB debe acoplarse con un sedimentador previo a la entrada del efluente, ya que de otra manera la remoción de materia orgánica particulada presente en el influente será muy pobre, sobre todo, cuando se manejan elevadas velocidades superficiales (ascensionales) del líquido, ya que serán seguramente arrastradas por la cama de lodo granular y saldrán del reactor con el efluente.

ESTIMACIÓN COSTOS

Los costes asociados a está tecnologías se basan principalmente en la inversión inicial y los costes del personal de mantenimiento, ya que en general este tipo de plantas se abastece de la electricidad que generan mediante el reaprovechamiento del biogás.

REACTOR DE LECHO GRANULAR EXPANDIDO (EGSB)					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil (US \$)	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	24	98.000	119.778 ⁽¹⁾	217.778 ⁽²⁾	34.844
<i>Caudal 2</i>	50	179.160	218.973	398.133	62.572
<i>Caudal 3</i>	100	271.555	331.901	603.456	94.841
<i>Caudal 4</i>	250	470.568	575.139	1.045.707	164.347
<i>Caudal 5</i>	500	713.248	871.747	1.584.995	249.104
<i>Caudal 6</i>	1.000	1.081.082	1.321.322	2.402.403	377.571
<i>Caudal 7</i>	5.000	2.839.491	3.470.489	6.309.979	991.699
<i>Caudal 8</i>	10.000	4.303.863	5.260.277	9.564.140	1.503.135
<i>Caudal 9</i>	14.400	5.356.436	6.546.756	11.903.192	1.870.749
⁽¹⁾ Estos costos representan el 55% de la inversión total.					
⁽²⁾ Este valor es aproximadamente el 181,81% del costo de obra civil señalado.					
<i>Molinos-Senante et al., 2012:</i>					
Costos de inversión: I (€/p.e.)=1.187x ^{-0.165} (r ² =0,991)					
Costos de mantenimiento: O&M (€/p.e.)=12,794x+6.031 (r ² =0,985)					
p.e.: población equivalente.					
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total</i>	$y = 38.076x^{0,6}$		Rango de aplicación: 50 a 14.400 m ³ /h Costos de: 398.138 a 11.903.339 US\$		
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento</i>	$y = 5.984,1x^{0,6}$		Rango de aplicación: 50 a 14.400 m ³ /h Costos de: 62.572 a 1.870.753 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)		Costo (US \$/año)		
No aplica	-		-		
Consumo energético planta					
El consumo energético de las plantas de digestión anaerobia es difícil de generalizar, ya que éstas además de recibir suministro de la red pueden autoabastecerse e incluso vender energía generada a través de reaprovechamiento del biogás producido.					

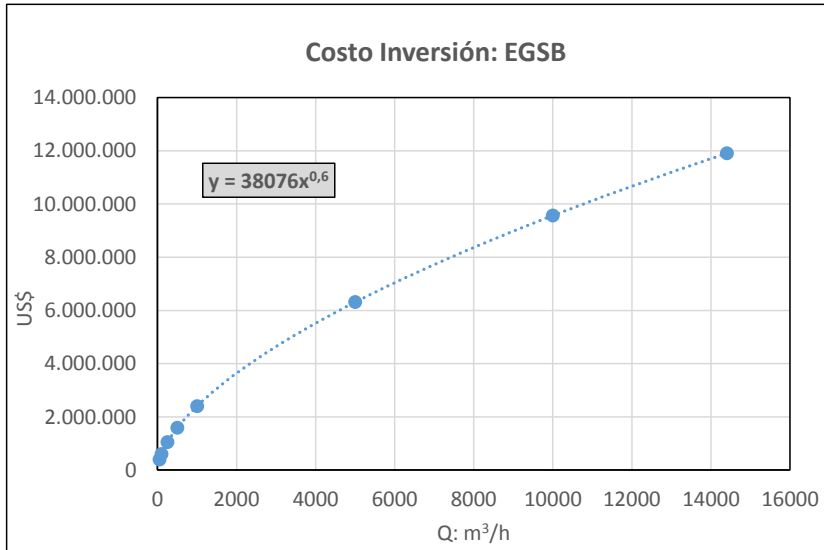
Área ocupada por la instalación (Datos referentes a una instalación a escala piloto)		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
n.d.	1 m ² /hab	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Mantenimiento (3 turnos/día)	Técnico operario	20.000 (por persona)
Jefe de planta	Técnico ingeniero	35.000
Control y monitoreo requerido		
Se requiere control de pH, nivel, temperatura, Ácidos Grasos Volátiles, potencial redox, alcalinidad y AOVs. El biogás requiere control de la composición (H ₂ S, CH ₄ y CO ₂).		
Vida útil de los equipos		
10-20 años. Datos referentes a una instalación con un sistema de tratamiento secundario formado por un reactor EGSB seguido de un tratamiento convencional de Lodos Activados.		

Datos estimados a partir de la relación de Williams aplicando un exponente de $n=0,6$ tomando como base los datos del Caudal 9. Estos datos han sido utilizados para obtener las curvas de costos.

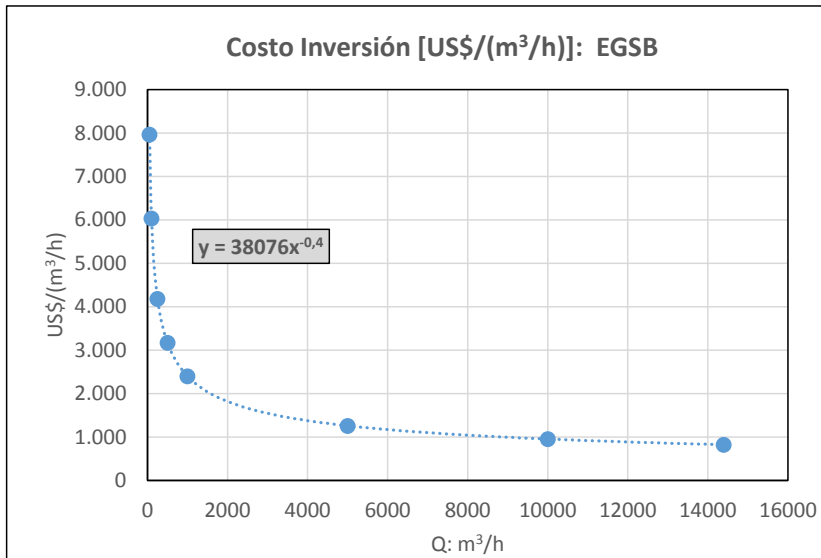
El valor referentes al costo de O&M presentado en azul (Caudal 1) se ha estimado aplicando la relación entre (C.inv./C. O&M) obtenido para los otros caudales (16%). En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se han calculado asumiendo que estos costos equivalen al 45 y 55%, respectivamente, de los costos totales de inversión.

• **Representación de las funciones costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

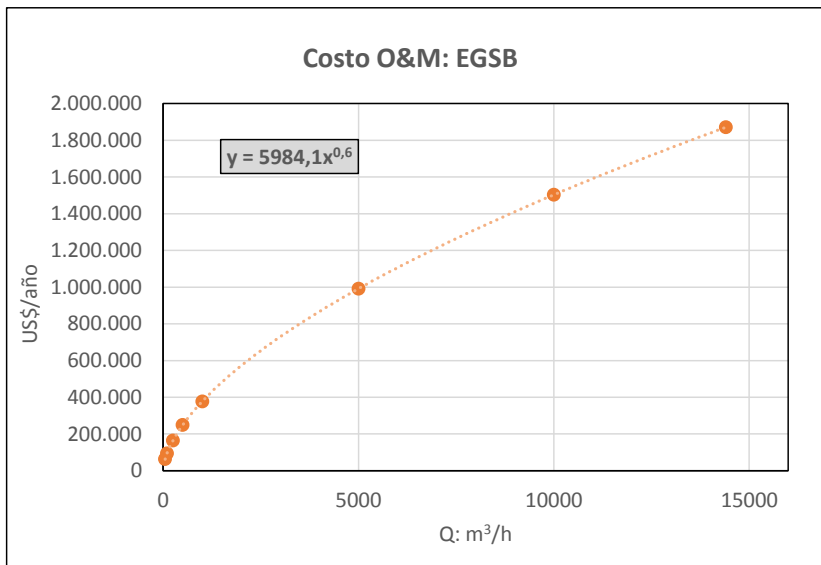


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

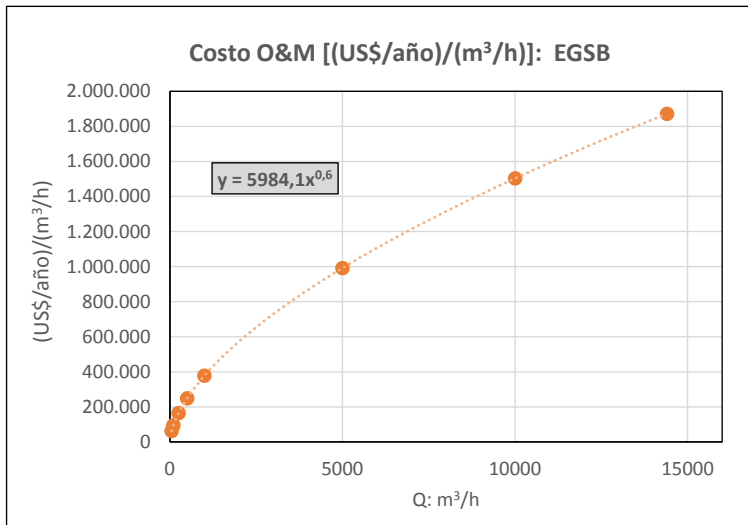


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Erasmo Chávez Manuel. Diseño y cálculo de un tren de tratamiento biológico para aguas residuales urbanas usando la tecnología de lecho granular expandido. Instituto Politécnico Nacional de México, Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura.
2. Granular Sludge from an EGSB Reactor. *Process Biochem.*, 40, 1973.
3. Jianlong, W. and Jing, K., 2005. The Characteristics of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX).
4. M. von Sperling, C.A. de Lemos Chernicharo, 2005. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, IWA Publishing.
5. Nuñez, L.A. and Martinez, B., 1999. Anaerobic Treatment of Slaughterhouse Wastewater in an Expanded. Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor. *Water Sci. Technol.*, 40, 99.
6. Seung J. Lim, 2006. Comparisons Between the UASB and the EGSB Reactor pp. 1-17.
7. Yi Jing Chan, Mei Fong Chong, Chung Lim Law, D.G. Hassell, 2009. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal* 155, pp. 1-18.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

1. Helble, A., Möbius, C.H., 2008. Comparing aerobic and anaerobic wastewater treatment processes for papermill effluent considering new developments. Presentation ZELLCHEMING General Meeting 25/06/2008, Wiesbaden.
2. Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernández-Sancho, F., Poch, M., 2012. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: environmental and economic aspects. *Science of the total environment*.

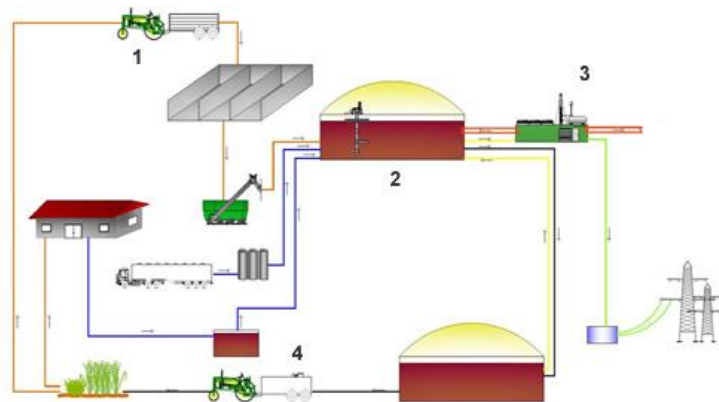
TECNOLOGÍA DE BIOMETANIZACIÓN

Descripción de la tecnología: La biometanización se basa en un proceso biológico de digestión anaerobia en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH_4 , H_2 , H_2S , etc.) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano, CH_4 (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, residuos de las industrias de transformación de dichos productos, lodos de depuradora de aguas residuales, aceites o alpechines de la industria de extracción, así como vertidos con elevada carga orgánica provenientes de la industria agroalimentarias o residuos ganaderos. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o juntos mediante lo que se llama codigestión. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

Existe un gran número de técnicas de metanización, desde las más lentas llevadas a cabo con los digestores de contacto hasta las más rápidas con los lechos fluidizados o de soporte, que se aplican al tratamiento de un amplio número de vertidos residuales. El esquema siguiente presenta las distintas fases de esta tecnología (1) recogida y mezcla de los codigestos (2) digestor (3) uso del biogás en motogeneradores para la obtención de electricidad y calor aprovechable (4) retirada del digestato y uso como fertilizante (5) exportación eléctrica.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	No Aplica.
Normas de emisión:	No aplica.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	No aplica.
Parámetros no normados:	DQO, Sólidos volátiles.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	15 días.
Pre-tratamiento:	No aplica.
Temperatura:	Temperatura ambiente (25 °C). A menudo se aumenta la temperatura (hasta 55 °C) para aumentar eficiencia de remoción por bacterias termófilas.
Selectividad:	No es selectiva.
Tipo de operación:	Continuo/discontinuo.

- **Eficiencia de remoción**

	DQO (%)	Sólidos volátiles (%)
Mínimo	91	92
Promedio	93,5	94,5
Máximo	96	97

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** No aplica.
- **Caudal de efluente a generar:** No aplica, la principal generación es el biogás.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No aplica.
- **Consumo de energía:** El consumo energético de las plantas de digestión anaerobia es difícil de generalizar, ya que éstas además de recibir suministro de la red pueden autoabastecerse e incluso vender energía generada a través de reaprovechamiento del biogás producido.
- **Condiciones limitantes:** Hay una serie de parámetros físicos y químicos que condicionan estos procesos, como la temperatura, la tasa de carga orgánica, el tiempo de residencia, la anaerobiosis, el pH la agitación y los nutrientes.

- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**
No, la aplicación principal reside en la utilización del biogás tal y como se comenta en el siguiente apartado.
- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica.
Emisiones	<p>El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, presenta aproximadamente la siguiente composición: 50-70 % de metano (CH₄), 30-40 % de dióxido de carbono (CO₂), 5 % de hidrógeno (H₂), ácido sulfhídrico (H₂S) y otros gases. El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:</p> <ul style="list-style-type: none"> – En una caldera para generación de calor o electricidad. – En motores o turbinas para generar electricidad. – En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas. – Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural. – Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado. – Combustible de automoción.

- **Vida media de la tecnología:** Dependerá del material con el que haya sido diseñada la planta.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
Industria elaboración de productos lácteos /Elaboración de productos de harinas y pastelería	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No se han detectado	No aplica
Extranjero	Guascor (multinacional)	http://www.guascorpower.com
	Cogersa (España)	www.cogersa.com
	Grupotec (España)	www.grupotec.es

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

No se registra la implementación de esta tecnología en Chile para el tratamiento de efluentes líquidos, sino que utiliza las fracciones sólidas de diversos rubros (agrícola, ganadero) para la generación de biogás y su posterior aprovechamiento.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Actualmente existen múltiples proyectos de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos mediante plantas de biometanización. Por ejemplo, la planta de biometanización de Zonzamas utiliza la tecnología de metanización húmeda, alimentándose de (1) la fracción orgánica de los residuos (2) lodos deshidratados procedentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) de la isla y (3) purines de cerdo.



Figura 1: Planta de biometanización Zonzamas, Lanzarote, España.



Figura 1: Planta de biometanización 40.000 t/año en centro de tratamiento residuos sólidos, El Campello, Alicante, (España).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

No se registra acoplamiento con otras tecnologías de tratamiento ya que la materia prima de la biometanización son los residuos sólidos y efluentes derivados, con lo cual no se necesitan tratamientos previos.

ESTIMACIÓN COSTOS

Los costes asociados a esta tecnología se basan principalmente en la inversión inicial y los costes del personal de mantenimiento, ya que en general este tipo de plantas se abastece de la electricidad que generan mediante el reaprovechamiento del biogás.

Actualmente, se está planteando la posibilidad de implementar sistemas de trituración de alimentos en los exteriores de los edificios y así abaratar los costes de las estaciones depuradoras de tratamiento de

aguas mediante digestión anaerobia. De esta manera la digestión anaerobia será el tratamiento primario eliminando así los costes asociados a los tratamientos físico-químicos.

BIOMETANIZACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
Caudal 1	2,5	81.144	189.336	270.480	24.343
Caudal 2	9,37	819.168	1.368.179	2.187.347	53.784
Caudal 3	25	1.182.385	2.758.900	3.941.286	96.911
Caudal 4	75	2.285.766	5.333.456	7.619.223	187.347
Caudal 5	134	1.952.453	8.840.219	10.792.867	265.383
Caudal 6	167	2.434.606	9.882.362	12.316.968	302.859
Caudal 7	250	4.707.162	10.983.379	15.690.542	385.811
Caudal 8	500	7.134.724	16.647.689	23.782.414	584.779
Caudal 9	700	8.730.799	20.371.865	29.102.665	715.598
Caudal 10	750	6.405.065	14.945.153	21.350.219	745.850
Caudal 11	1.000	10.814.219	25.233.179	36.047.399	886.360
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -23,622x^2 + 56.543x + 2 \cdot 10^6$ ⁽¹⁾			Rango de aplicación: 10 a 1.000 m ³ /h Costos de: 2.563.058 a 34.920.000 US\$	
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 14.048x^{0,6}$			Rango de aplicación: 2,5 a 1.000 m ³ /h Costos de: 24.343 a 886.369 US\$/año	
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)		Costo (US \$)		
No aplica	-		-		
Consumo energético planta					
El consumo energético de las plantas de digestión anaerobia es difícil de generalizar, ya que éstas además de recibir suministro de la red pueden autoabastecerse e incluso vender energía generada a través de reaprovechamiento del biogás producido.					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)		
n.d.			n.d.		
Población atendida			Volumen reactor (m ³)		
100.000			4.300		
Personal calificado necesario para la planta					

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

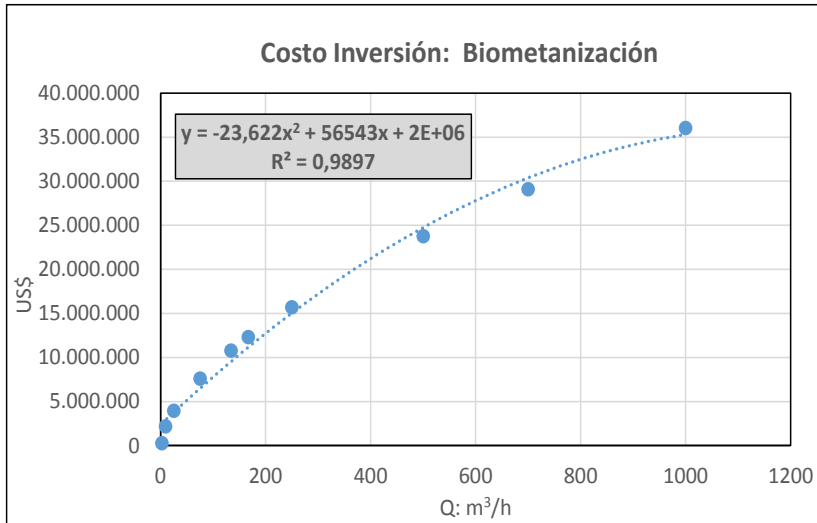
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Mantenimiento (3 turnos/día)	Técnico operario	20.000
Jefe de planta	Técnico ingeniero	35.000
Control y monitoreo requerido		
Se requiere control de pH, nivel, temperatura, Ácidos Grasos Volátiles, potencial redox, alcalinidad y AOVs. El biogás requiere control de la composición (H ₂ S, CH ₄ y CO ₂).		
Vida útil de los equipos		
10-15 años en función de su mantenimiento y de la concentración de H ₂ S de los gases de salida.		

- Datos eliminados para el desarrollo de las funciones de costos por su fuerte desviación frente a la tendencia general.
- Datos estimados a partir de la relación de Williams aplicando un exponente de n=0,6 tomando como base los datos del Caudal 2 (C. inversión) y el Caudal 1 (C. O&M). Estos datos han sido utilizados para obtener las curvas de costos.
- Los valores presentados en azul son datos estimados mediante las curvas de costes de operación y mantenimiento obtenidas a partir de los datos reales o estimados por factor de escala. En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo que estos costos equivalen al 30 y 70%, respectivamente, de los costos totales de inversión.

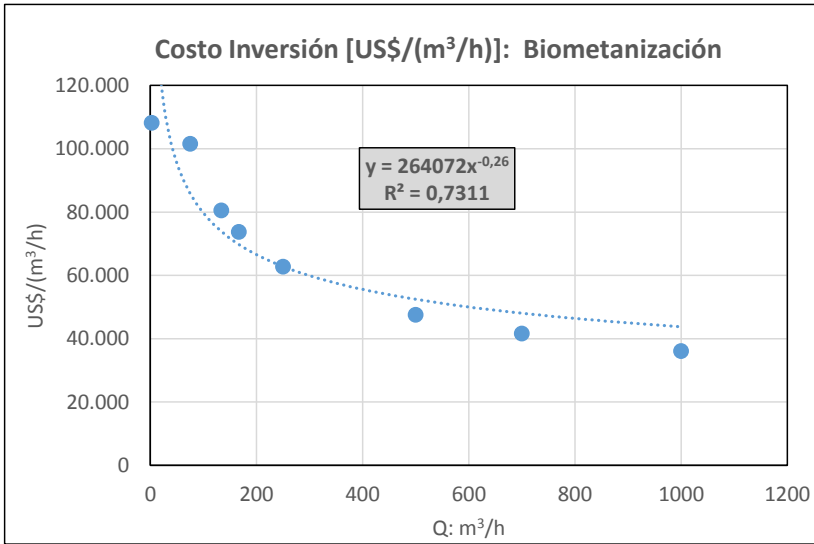
⁽¹⁾Para caudales inferiores a 10 m³/h la función de costos de inversión no se ajusta adecuadamente.

• **Representación de las funciones costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

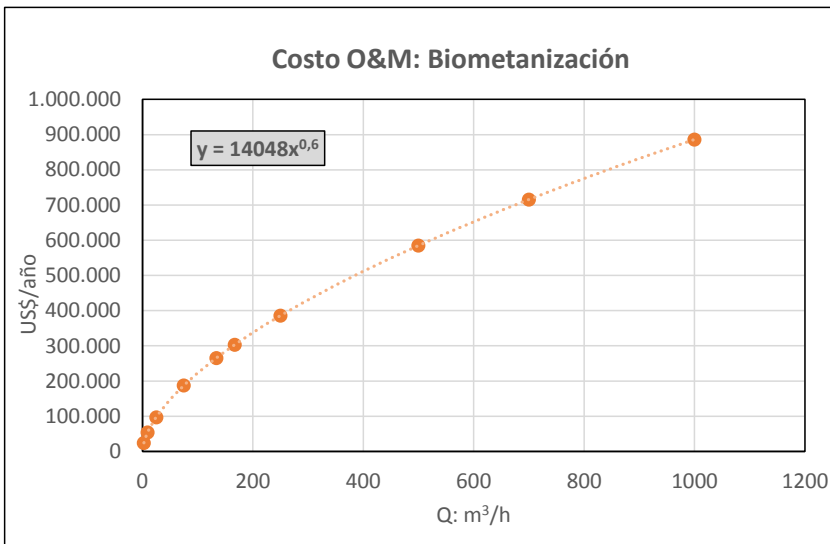


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

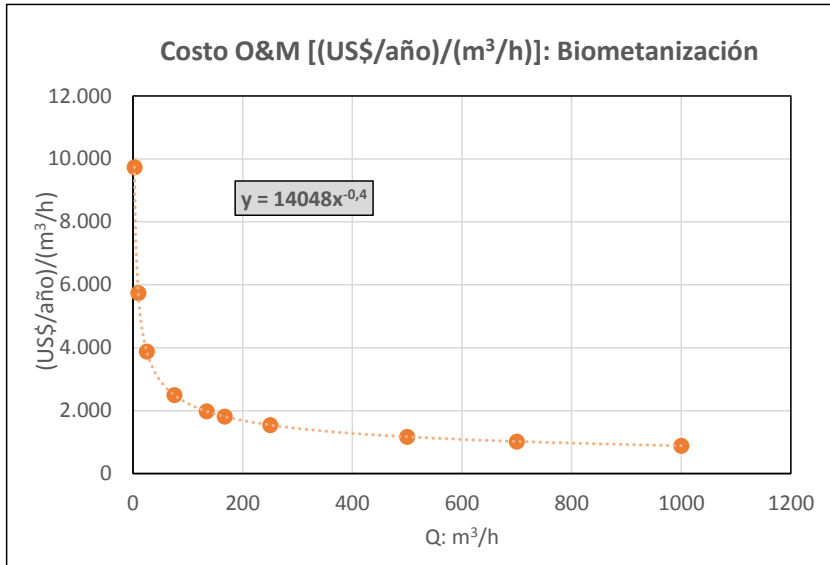


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



BIBLIOGRAFÍA

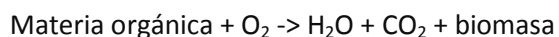
1. Chamy Rolando, Vivanco Elba, Sep. 2007. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de Biogás. Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía, Escuela de Ingeniería Bioquímica. B y B Impresores, ISBN: 978-956-7700-08-0, Santiago de Chile.
2. Cuadros S., 2007. Compostaje y Biometanización. Módulo contaminación por residuos. Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. EOI Escuela de Negocios.
3. Liliana Alzate Gaviria, Juan Tejero Monzón, José Rico Gutiérrez, Producción más limpia, 2008. Study in parallel of two anaerobic systems with and without separation of the hydrolytic phase for generating bio methane.
4. Procesos biometanización empresa Guascor:
http://www.guascorpower.com/bioenergia_biometanizacion.php
5. T. Forster-Carneiro, L.A. Fernández, M. Pérez García, L.I. Romero García, C.J. Álvarez Gallego, D. Sales, 2004. Biometanización de la fracción orgánica del residuo sólido urbano: proceso Sebac. Dept. de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos, y Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.
6. Resumen seminario microbiología ambiental.

BIBLIOGRAFÍA COSTOS

1. Informe Cadagua, 2008. Estaciones depuradoras de aguas residuales.
2. Montes Carmona, M.E., 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

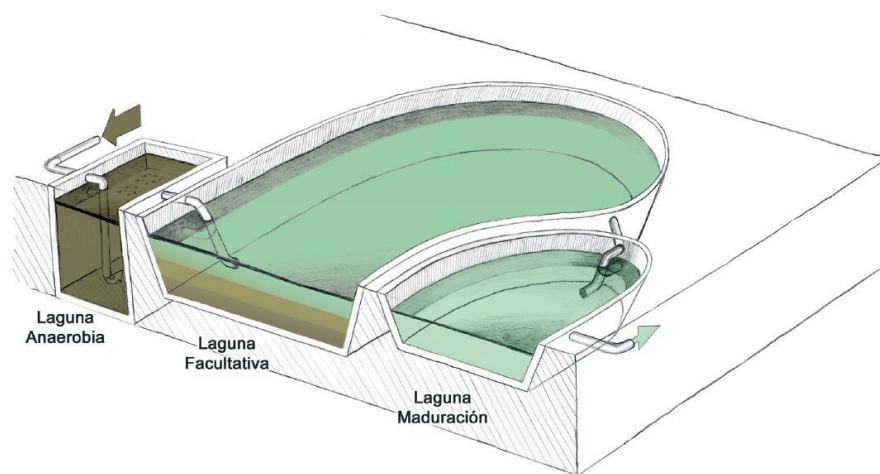
TECNOLOGÍA DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN

Descripción de la tecnología: En las lagunas de oxidación se utiliza el oxígeno disuelto como receptor de electrones, es un proceso conocido como respiración aeróbica. El esquema simplificado del proceso es el siguiente:



La aireación generalmente es entregada por equipos de aireación superficial, opera en flujo continuo sin recirculación de lodos, por esto requieren mayor tiempo de retención que los sistemas convencionales. El efluente generalmente se somete a clarificación en lagunas de sedimentación o maduración. Existen 4 tipos de lagunas para el tratamiento de aguas residuales según su forma de operación:

- Lagunas de oxidación aerobias (aireadas): Cuando existe oxígeno en todos los niveles de profundidad.
- Lagunas de oxidación anaerobias (sin aireación): cuando la carga orgánica es tan grande que predomina la fermentación sin oxígeno.
- Lagunas de oxidación facultativas: opera como una mezcla de las dos anteriores, la parte superior aerobia y el fondo anaerobio.
- Lagunas de acabado: Son aquellas que se utilizan para mejorar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Coliformes fecales, pH.
Normas de emisión:	DBO ₅ , fósforo total, aceite y grasas, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentales, pH, temperatura.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO ₅ , aceite y grasas, fósforo total, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura.
Parámetros no normados:	DQO.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	30 días aprox. (3 a 10 días por laguna).
Pre-tratamiento:	Rejillas (remoción sólidos gruesos), desarenadores.
Temperatura:	35 - 37°C.
Selectividad:	No es selectiva.
Tipo de operación:	Discontinuo.

- Eficiencia de remoción**

	Coliformes fecales (%)	DBO ₅ (%)	Fosforo total (%)	Nitrógeno total (%)
Mínimo	99,15	65,13	57,14	10,71
Promedio	99,57	81,97	76,94	51,64
Máximo	99,99	98,81	96,74	92,58
	Grasas y Aceites (%)	pH	Temperatura (°C)	Sólidos Sedimentales (%)
Mínimo	43,57	7,2	4	99,96
Promedio	70,58	7	19,5	93,73
Máximo	97,60	6,87	35	87,50

Eficiencia remoción no determinada: SST, DQO.

- Capacidad de tratamiento por caudal:** hasta 1400 l/s.
- Caudal de efluente a generar:** generalmente el 75% del caudal de entrada.
- Reactivos utilizados según caudal:** aporte de oxígeno.
- Consumo de energía:** El consumo energético se verá relacionado con el diseño de la planta dependiendo de la energía necesaria para transportar los líquidos a tratar (caudal). De forma general, en el caso de lagunas aireadas de mezcla completa el consumo energético suele ser

superior a 15 W/m^3 mientras que en el caso de lagunas aireadas facultativas oscila entre $1-4 \text{ W/m}^3$

- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes para estas tecnologías son las siguientes;
 - La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
 - Disponibilidad de terreno, normalmente superior a otros métodos de tratamiento.
 - Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.
 - Temperatura.
 - Radiación Solar.
 - Viento.
 - Evaporación y precipitación.
 - Estratificación, flujo entre lagunas, profundidad.
 - Otros factores físico – químicos como el pH y el oxígeno disuelto.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Sí, principalmente para regadío en la agricultura. Generalmente suele ser necesario un segundo tratamiento (con el fin de disminuir la concentración de ciertos parámetros que pudieron haber quedado en el agua tratada).

- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, los cuales pueden ser reutilizados como fertilizante.
Emisiones	No

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, con una adecuada mantención de equipos y motores.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria de papel y madera.	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T , Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas.	- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC. - Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales , metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn). - Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻ , P, K, B, Cl, Na, metales.

Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
---	---

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Agua Market	http://www.aguamarket.com/
	Sidecar	http://www.sidecar.cl/
	AmbienChile	http://www.ambienchile.cl/
Extranjero	DWATER (México)	www.dwater.com.mx
	ADlandes (Argentina)	www.adlandes.com.ar

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Las lagunas de oxidación son utilizadas en el 23% de las PTAS, en especial en comunidades pequeñas en la zona centro-norte de Chile. De las plantas que utilizan la tecnología de lagunas, el 75% corresponde a lagunas aireadas, mientras que el 25% restante corresponde a lagunas de estabilización. Cabe destacar que muchas de las actuales lagunas aireadas fueron lagunas de estabilización durante algunos años, y se les incorporó aireación forzada cuando la carga contaminante sobrepasó la capacidad depuradora de la laguna de estabilización.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Las lagunas de oxidación es una tecnología muy aplicada en Estados Unidos, Europa, Centro y Sur América. Esta tecnología es particularmente apropiada debido a su bajo costo y al método sencillo de construcción y mantención. Correctamente diseñadas y construidas, las lagunas para el tratamiento pueden remover efectivamente la mayoría de los contaminantes asociados con las aguas negras municipales, industriales (con carga contaminante orgánica) y las aguas lluvia. A continuación se indican dos ejemplos:



Figura 1: Lagunas de oxidación, Sincelejo – Sucre. (Colombia).



Figura 1: Plantas de tratamiento de aguas servidas de Ambos Nogales mediante tecnología de lagunas aireadas (México – EEUU).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología de lagunas de oxidación acopla tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma consecutiva, alternante o produciéndose ambos a la vez. Esto último es lo que sucede en las denominadas lagunas facultativas, con zonas de depuración aerobia (zona más superficial) y anaerobia (zonas más profundas). Los sistemas de lagunaje combinan lagunas de los tres tipos; anaerobias, aerobias y facultativas.

Las lagunas de oxidación también pueden acoplarse con el reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (UASB), ya que dicho reactor trata con éxito efluentes de diversas industrias, pero no obtiene eficiencias de remoción superiores al 82%. Para aumentar dicha eficiencia debe ser complementado por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas.

ESTIMACIÓN COSTOS

Las lagunas de oxidación aerobias presentan oxígeno en todos los niveles de profundidad, con lo cual requieren menor superficie de terreno con respecto a las lagunas de aireación o facultativas para conseguir la misma calidad del efluente de salida. Por otro parte, los costos asociados al personal también aumentan en función de la superficie de la planta.

LAGUNAS DE OXIDACIÓN						
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)			Costo equipos (US \$)(1)	Costo obra civil (US \$)(2)	*Costos inversión total (US \$)(1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	252	40.000 hab.	39.744	18.590.586	18.630.330	194.252
<i>Caudal 2</i>	800	n.d	3.725.925	33.533.334	37.259.259	745.185
<i>Caudal 3</i>	1500	n.d	5.432.940	48.896.469	54.329.409	1.629.882

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

Caudal 4	3000	n.d	8.234.798	74.113.187	82.347.985	3.293.919
Caudal 5	5000	n.d	11.188.251	100.694.265	111.882.516	5.594.125
FUNCIONES DE COSTO						
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$						
Costos de inversión total	$y = 675119 x^{0,6}$			Rango de aplicación: 252 a 5.000 m ³ /h Costos de: 18.630.334 a 111.882.544 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 1.114,5x - 117.586$			Rango de aplicación: 252 a 5.000 m ³ /h Costos de: 170.072 a 5.589.914 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES						
Reactivos						
Aditivo	Consumo (kg/m ³)		Costo (US \$)			
Cal viva (CaO) cuya función es eliminar malos olores	n.d		0,85 US\$/Kg			
Cloro, como tratamiento final de desinfección.	0.01-0.015		1,5 por tableta de cloro (cada tableta permite tratar 5 m ³).			
Consumo energético planta						
De forma general, en el caso de lagunas aireadas de mezcla completa el consumo energético suele ser superior a 15 W/m ³ mientras que en el caso de lagunas aireadas facultativas oscila entre 1-4 W / m ³						
Área ocupada por la instalación						
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)			
44,6			1,3 ha			
Personal calificado necesario para la planta						
Número de personas			Especialización del personal		Costo (US \$/año)	
La cantidad de personas necesarias para el control adecuado de las lagunas de oxidación está en función del número de celdas que componen el sistema y su área total.			Alta (supervisor) Media (operarios)		Aprox. 25 % de los costos de operación y mantenimiento	
Control y monitoreo requerido						
Se requiere muestrear diariamente ciertos parámetros físico – químicos durante el periodo de residencia del efluente (entrada y salida). Por otra parte se debe organizar el acopio y evacuación de los sólidos retenidos en las rejillas, conducciones y en las propias lagunas.						
Vida útil de los equipos						
20 años, con una adecuada mantención de equipos y motores.						

Costos calculados a partir del caudal 1 mediante factor de capacidad y exponente de Williams (exponente = 0,6). Los costos de O&M correspondientes a los caudales Q2-Q5 representa entre un 2-5% del costo de inversión total, de forma conservadora y teniendo en cuenta el aumento del caudal de tratamiento, ya que los costos de operación y mantenimiento para Q1 y según bibliografía representan solamente un 1 % de los costos de inversión total (según datos reales), porcentaje que aumentará en función del volumen tratado y diseño de la planta.

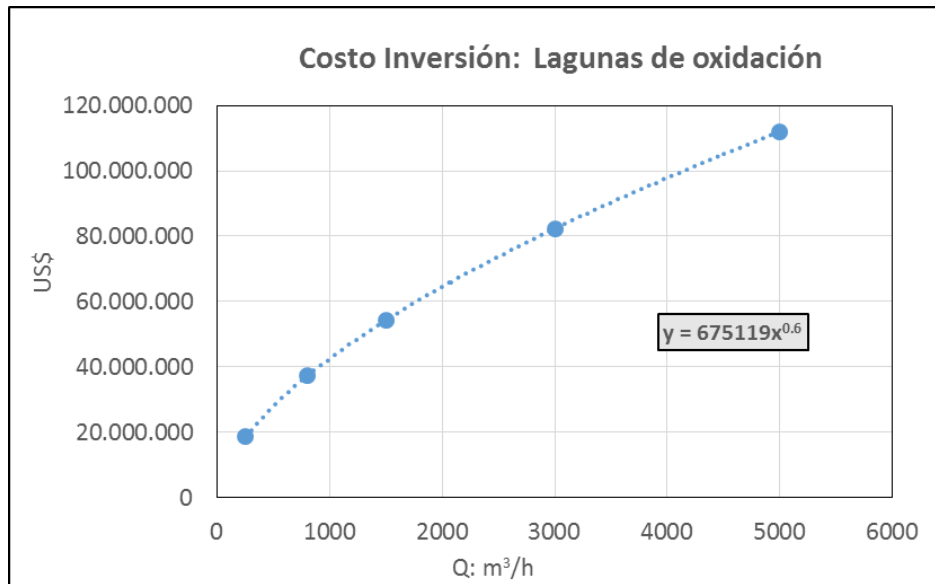
Los costos de equipos y obra civil se han calculado según datos bibliográficos y de proveedores, siendo equivalentes al 10 y 90% respectivamente de los costos totales de inversión.

*La inversión total no contempla el costo del terreno. Como referencia, el costo del terreno para el caudal 1 es de 4.878.000 US \$. Cabe destacar que este es un dato puntual, el costo del terreno dependerá de su localización y otros factores adyacentes a evaluar en cada caso en concreto.

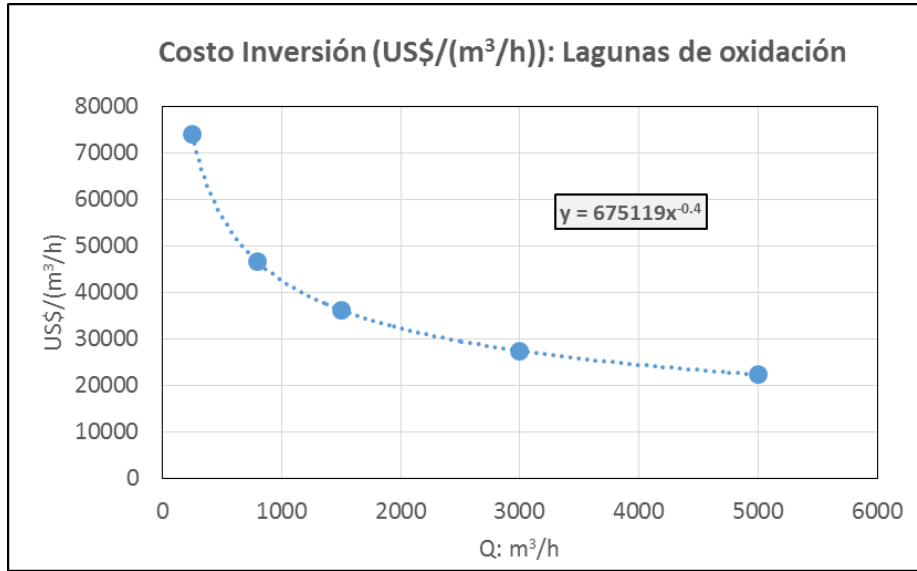
n.d: no definido el número de habitantes que podrían ser abastecidos por una planta

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

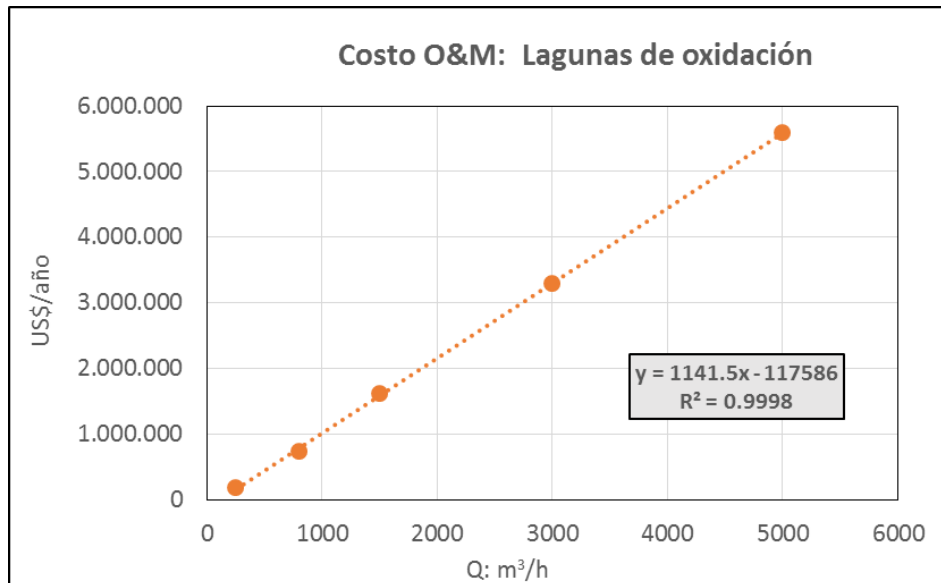


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

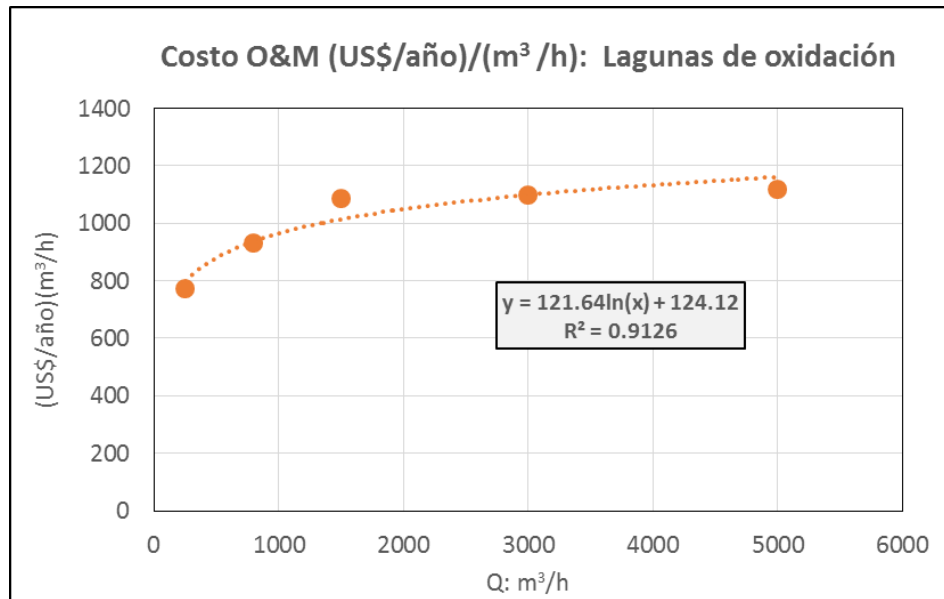


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



BIBLIOGRAFÍA

1. Barañao Pablo Andrés, Tapia A. Luis Alejandro, 2004. Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile. Ciencia y trabajo, año 6, n° 13.
2. CETESB (1989), Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas, Série Manuais, São Paulo.
3. Córdova Villar Rocio, 2011. Guía para la operación y mantenimiento de lagunas de oxidación y estabilización. Gobierno Regional Junín. <http://www.slideshare.net/rociodelpilarcv3/guia-de-mantenimiento-y-operacion-laguna-de-oxidacion>
4. Febles-Patrón J. L., Hoogesteijn A., 2010. Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. Ingeniería, vol. 14, núm. 2, pp. 127-137, Universidad Autónoma de Yucatán (México).
5. Lampoglia T., 2001. Tratamiento de desagües por lagunas de estabilización. Manual de operación y mantenimiento. Cooperación Técnica. República Federal de Alemania. Programa de Agua Potable y Alcantarillado. Chiclayo.
6. Marcial R. Piris da Motta. Equipo de trabajo: Ing. Kruzolek Carlos; Ing. Queirolo Eduardo; Lic. Salguero Daniel; Tec. Smorzewski Marta. Eficiencias de Lagunas Aireadas Aeróbicas Durante el periodo inicial de funcionamiento. Cátedra de Estadística- Facultad de Ciencias Exactas,

- Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Misiones 3862- CP 3300-Posadas - Misiones- Argentina.
7. Modelo y sistema automático de diseño de lagunas de estabilización. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS Chile, Concepción Oct. 2013.
 8. Nogales Escalera Oscar Ángel, Diseño de Lagunas Aireadas a partir de lagunas de estabilización existentes. Universidad Católica Boliviana, Bolivia.
 9. Research and consulting Inc., CH2M Hill Engineering Ltd, 1999. MISA, Water Pollution Abatement Technology and cost study. Ontario Ministry of the Environment, Socio-Economic Section Policy and Planning Branch, ISBN 0-7729-8463-8.
 10. Rolim S., Operación y mantenimiento de lagunas de oxidación- garantía de la calidad del tratamiento, ACODAL.

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Moscoso Cavallini Julio Cesar, 2011. Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima Metropolitana. Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF) http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf

BIORREACTOR DE MEMBRANA (BRM)

- **Descripción de la tecnología:** El biorreactor de membrana se puede definir como la combinación de dos procesos básicos; degradación biológica y separación por membrana en un proceso único en el que los sólidos en suspensión y microorganismos responsables de la biodegradación son separados del agua tratada, mediante una unidad de filtración por membrana. La totalidad de la biomasa microbiana está confinada dentro del sistema, proporcionando un control perfecto del tiempo de permanencia de los microorganismos en el reactor (edad del fango) y desinfección del efluente.

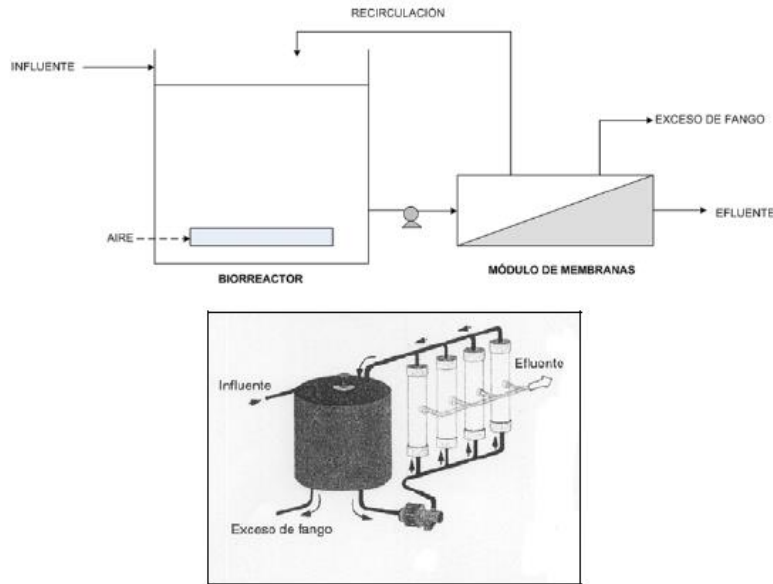
El influente (agua a tratar) entra en contacto con la biomasa en el biorreactor donde, al igual que en el caso de los lodos activados, se producen las reacciones biológicas que permiten la degradación de la materia orgánica. Posteriormente, la mezcla es bombeada del biorreactor y bajo presión, filtrada a través de la membrana. El agua filtrada es descargada del sistema mientras que la biomasa es devuelta al biorreactor. El exceso de lodos se bombea y se descarga con el fin de mantener una edad del lodo constante.

Las membranas se limpian periódicamente y generalmente mediante lavado a contracorriente o retrolavado. Las membranas pueden ser incorporadas en el diseño del tratamiento de aguas residuales mediante biorreactores como una etapa de separación sólido-líquido de dos formas distintas: externamente o integradas dentro del reactor.

Un BRM con membranas externas o recirculación, implica que el licor mezcla es recirculado desde el biorreactor hasta la unidad de membrana que se dispone externamente a la unidad biológica. En cambio, los biorreactores con membranas integradas o sumergidas, la unidad de membrana que realiza la separación sólido-líquido está inmersa en el tanque biológico. En este caso se coloca un difusor de aire justo debajo del módulo de membranas para suministrar el aire necesario con objeto de facilitar el proceso biológico y homogeneizar el contenido del tanque así como para favorecer la propia limpieza de la membrana.

A parte de la diferencia en la disposición de las membranas, las dos configuraciones se diferencian también por la tecnología utilizada para crear el gradiente de presión entre ambos lados de la membrana (fuerza directriz). En los BRM con membranas sumergidas, la fuerza impulsora a través de la membrana es alcanzada presurizando el biorreactor o creando presión negativa en el lado permeado de la membrana. En cambio, en los BRM con lazo externo, la fuerza impulsora es la presión creada por la alta velocidad del flujo de recirculación a través de la superficie de la membrana. El funcionamiento de ambos tipos de diseño es importante dado que harán variar las consideraciones de diseño y operación.

El proceso del biorreactor de membrana debe ser diferenciado de aquellos procesos de tratamiento en los que la membrana de filtración se instala a continuación de los procesos biológicos, tales como procesos de fangos activados o película fija, como una etapa más de depuración o tratamiento terciario.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	No aplica.
Normas de emisión:	DBO5, nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal, aceites y grasas.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO5, aceites y grasas.
Parámetros no normados:	Microorganismos patógenos, COD, turbidez, COT.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado.
Pre-tratamiento:	Filtración para retirar la materia particulada que pueda atascar los poros. También se recomienda el pretratamiento para separar sustancias oxidantes como el hierro o el manganeso y evitar que se manchen las membranas (si estos oxidantes están presentes en concentraciones de más de 0.3 mg/l). También conviene realizar un tratamiento de neutralización para evitar la formación de escamas, lo que implica una mejora de la eficacia y vida útil de la unidad.
Temperatura:	15 a 25 °C, la eficiencia del tratamiento se deteriora la disminución de temperatura por debajo de 10 °C.
Selectividad:	Media - alta.
Tipo de operación:	Continuo

- **Eficiencia de remoción**

	DBO5 (%)	COD (%)	NTK (%)	NH ₄ N (%)
Mínimo	97	56	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	n.d	n.d
Máximo	98	88	90	90
	Turbidez (%)	Aceites y grasas (%)	COT (%)	
Mínimo	97	65	n.d	
Promedio	n.d	n.d	n.d	
Máximo	99	73	60	

(n.d: no determinado). Eficiencia remoción no determinada: microorganismos patógenos.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** Actualmente, la mayoría de los BRM tratan caudales de ~ 1.000 m³/d debido a los elevados costes de esta tecnología, sin embargo cada vez se construyen BRM más grandes.
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente un 80% del caudal de entrada. Se producen fangos con un rango de 0-0,3 kg biomasa/kg DBO.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No aplica.
- **Consumo de energía:** El consumo de energía para módulos de membrana externa es de 2-10 kWh/m³ mientras que, para las sumergidas es de 0,2-0,4 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** Las principales condiciones limitantes de esta tecnología son las siguientes:
 - La acumulación de partículas en las membranas, tanto a nivel operacional como a nivel de costes. El fouling de la membranas produce una disminución en el flujo de filtrado, lo que conlleva que deban realizarse ciclos de limpieza para restaurarlo, aumentando los costes operacionales del sistema.
 - Tratamiento de los lodos generados ya que en los BRM se opera en rangos donde los lodos pueden presentar problemas de sedimentabilidad y donde la deshidratación es más difícil.
 - Acumulación de compuestos perjudiciales para los microorganismos.
 - Acumulación en el biorreactor de compuestos inorgánicos no filtrables como metales pesados, que a determinadas concentraciones pueden ser dañinos para la población bacteriana o afectar a la integridad de la membrana.

- *¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos? Si, principalmente en la industria alimentaria.*

- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica.
Emisiones	No aplica.

- **Vida media de la tecnología:** 10 años, según el tipo de membrana, el contexto y la utilización que se haga.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria curtidos y textil	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl⁻.
Industria de papel y madera	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
Industria fabricación de metales y productos elaborados de metal	SS, Aceite, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Sn, P_T, As, Cd, Cu, AOX, Fenoles, PAH, TOC, Cl⁻, CN⁻, F⁻.
Industria elaboración de productos lácteos /Elaboración de productos de harinas y pastelería	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria productos químicos	PO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , nitrógeno amoniacal, metales (Cd, Cr, Cu, Hg), AOX, SST.
Industria productos químicos (farmacia)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC.
Industria productos químicos (cosmética)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBd, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difinileter, CN⁻ y F⁻.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No detectada	No aplica
Extranjero	GE Power & Water (multinacional).	http://www.gewater.com/product-directory.html
	DMT Environmental Technology (Países Bajos).	http://www.dirkse-milieutechniek.com/dmt/do/webPages/200924/Water.html
	Veolia Water (Francia).	http://www.veoliawatersti.fr/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

En la actualidad existen en torno a 500 BRM operando en diversas partes del mundo con muchos otros en fase de proyecto o construcción. Los lugares en los que más se ha extendido esta tecnología son Japón (que cuenta aproximadamente con el 66% de los procesos a nivel mundial), Norte América y Europa.

CASOS DE APLICACIÓN

Actualmente existen casos de aplicaciones en la industria alimentaria, de bebidas y petroquímica.



Figura 1: Planta tratamiento BRM efluentes matadero, Bretaña (Francia).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Esta tecnología suele acoplarse con tratamientos físico – químicos (coagulación /floculación, precipitación, filtración) y tratamientos de osmosis inversa.

ESTIMACIÓN COSTOS

Los costes de inversión directos de la tecnología, asociados a los equipos de proceso e instrumentación, entre otros, representan 2/3 del total de la inversión; mientras que el coste asociado se sitúan alrededor del 7,3% (Alcarria, M., 2005). En cuanto a los costos de operación y mantenimiento, éstos son ligeramente superiores a los de una planta de tratamiento por lodos activos, ya que se requiere una mayor tasa de aireación además de la sustitución de las membranas tras finalizar su vida útil. Por otro lado, y aunque el costo de tratamiento de los lodos generados no sea un costo directo del tratamiento sí se trata un costo derivado de éste y que, debido a la menor generación de fangos (respecto al sistema de lodos activos) su costo asociado se verá reducido.

BIORREACTOR DE MEMBRANA					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)	Costo obra civil ⁽¹⁾	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
Caudal 1	4,7	578.252	289.126	876.139	19.385
Caudal 2	6,3	1.116.175	558.087	1.691.174	25.733
Caudal 3	24,0	1.500-1.750 kUS\$	1.288.399	2.576.797	89.591
Caudal 4	166,7	865.228	432.614	1.310.951	686.200
Caudal 5	208,3	4.590.450	2.295.225	6.955.228	668.142
Caudal 6	630,9	16.291.755	8.145.877	24.684.477	1.847.000
Caudal 7	833,3	15.101.848	7.550.924	22.881.588	1.431.734
Caudal 8	1.583	51.484.358	25.742.179	78.006.603	2.321.318
Caudal 9	1.892	26.066.807	13.033.403	39.495.162	5.541.000
Caudal 10	2.000	31.881.479	15.940.739	48.305.271	8.234.400
Caudal 11	3.166,7	49.188.877	24.594.439	74.528.602	5.558.522
⁽¹⁾ Excepto para el caudal 3 que representa el 50% de los costos de inversión, para el resto de caudales se ha considerado que éstos ascienden a un 33% de la inversión. ⁽²⁾ Excepto para el caudal 3, se ha considerado que los costos de los equipos ascienden a un 66% de la inversión.					
<i>Molinos-Senante et al., 2012.</i> Costos de Inversión: $I(\text{€/p.e})=5.635,3x^{-0.352}$ ($r^2=0,992$) Costos de Operación y Mantenimiento: $O\&M(\text{€/p.e})=30,150x+13.542$ ($r^2=0,985$) <i>p.e.: población equivalente.</i>					
<i>Aproximadamente, el 78% de los costos directos de inversión (equipos, instrumentación, tuberías, etc.) están asociados al costo de las membranas.</i>					
FUNCIONES DE COSTOS					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -0,4909x^2 + 24.045x + 2 \cdot 10^6$ ⁽¹⁾		Rango de aplicación: 10 a 3.166 m ³ /h Costos de: 2.240.401 a 73.205.906 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 5.882,5x^{0,8569}$		Rango de aplicación: 4,7 a 3.166 m ³ /h Costos de: 22.156 a 5.876.919 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo		Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$/año)		
Ajuste pH		n.d.	n.d.		
Consumo energético planta					
		Caudal (m ³ /h)	Costo energético (US\$·m ⁻³)		
		1.583,3	0,05		
- Para caudales entre 2-10 m ³ /h el consumo energético es de 2 a 10 kWh/m ³ . - El consumo de energía para módulos de membrana externa es de 2-10 kWh/m ³ mientras que, para las sumergidas es de 0,2-0,4 kWh/m ³ .					

Área ocupada por la instalación (Datos referentes a una instalación a escala piloto)		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
1.741	2.450	
Caudal (m ³ /h)	Área (m ² /m ³ /d)	
166,6	0,97	
791,6	0,45	
1.583,3	0,44	
3.166,6	0,38	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
n.d.	Técnicos e ingenieros	Técnicos (1.500 US\$/año) Ingenieros (2.500 US\$/año)
Control y monitoreo requerido		
Los parámetros de diseño son: relación alimento/microorganismo, edad del fango y carga volumétrica.		
Vida útil de los equipos		
10 años		

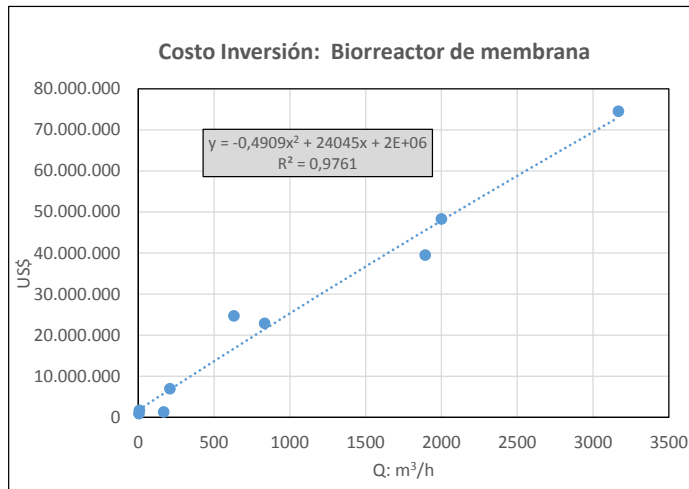
■ Datos eliminados para el desarrollo de las funciones de costos por su fuerte desviación frente a la tendencia general.

■ Los valores presentados en azul son datos estimados mediante las curvas de costes de inversión y de operación obtenidas a partir de los datos reales. En el caso de los costos de equipos y de obra civil los valores estimados se han calculado asumiendo que se conserva el porcentaje que éstos representan frente a la inversión total obtenida para casos reales.

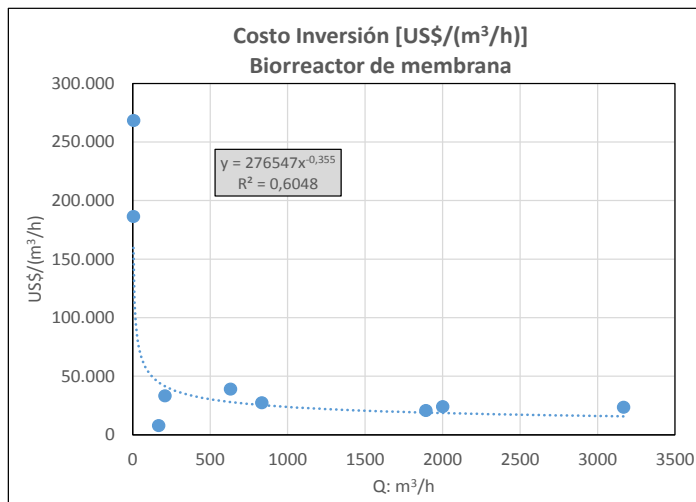
⁽¹⁾Para caudales inferiores a 10 m³/h la función de costos de inversión no se ajusta adecuadamente. Por lo tanto esta función se puede aplicar entre 10 y 3.166 m³/h.

- Representación de las funciones costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

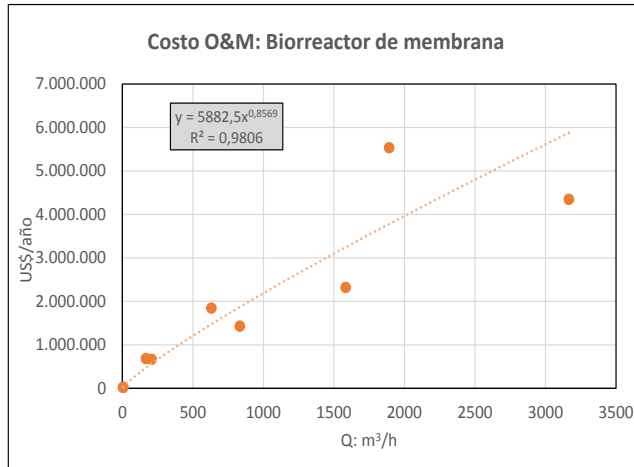


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

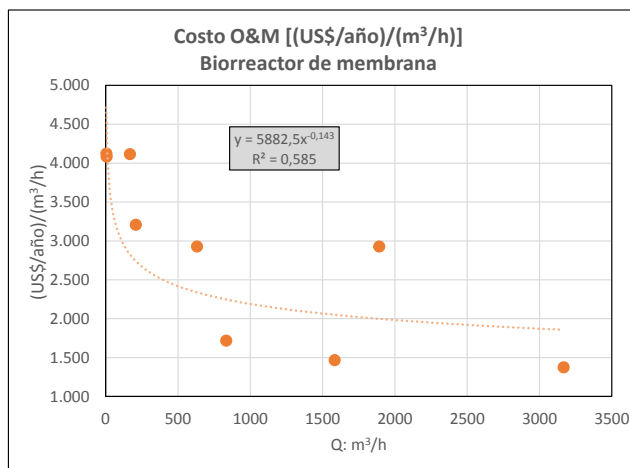


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aplicaciones industriales mediante BRM <http://www.veoliawatersti.fr/standard/effluents-industriels/aerobie/biosep/>
2. Blasco, A. Cepicma., dic. 2004. Biomembranas. Asecorp On-line, 2001. [http://www.asecorponline.com/ficheros/demo/coltec/biomembranas.pdf].
3. Centro Canario del Agua, dic. 2004. Introducción a los biorreactores de membranas. [http://www.fcca.es/Docs/introMBR.pdf.].

4. Galil N.I., Levinsky Y., 2007. Sustainable reclamation and reuse of industrial wastewater including membrane bioreactor technologies: case studies. *Desalination* 202, pp. 411–417.
5. Gander, M., Jefferson, B., Judds, S., 2000. Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. *Separation and Purification Technology*, 18, p. 119-130.
6. Hutzinger O., Barceló D., Kostianoy A., 2008. The handbook of environmental chemistry. Volumen 5 Water pollution part S/2., p. 58.
7. Manem J., Sanderson R., 1998. Biorreactores de Membrana. Tratamiento del Agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. American Water Works Association Research Foundation. Madrid. McGraw-Hill, pp.757-787.
8. Martínez Luis Carlos, 2011. Tecnología M.B.R. para reutilización de agua depurada en riego de zonas verdes. AEMA - Agua, Energía y Medio Ambiente, Servicios Integrales, S.L.
9. Stephenson, T. et al. 2000. Membrane bioreactor for wastewater treatment. London IWA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

1. Alcarria Escribano, M., 2005. Evaluación tecnológica de los biorreactores de membrana. Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, UPC (España).
2. Emerging technologies for wastewater treatment and In-Plant wet weather management, 2008, EPA, USA.
3. Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernández-Sancho, F., Poch, M., 2012. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: environmental and economic aspects. *Science of the total environment*.
4. Sitio web: http://www.costwater.com/membranes/mbr/mbr_database.php

TECNOLOGÍA DE ÓSMOSIS INVERSA

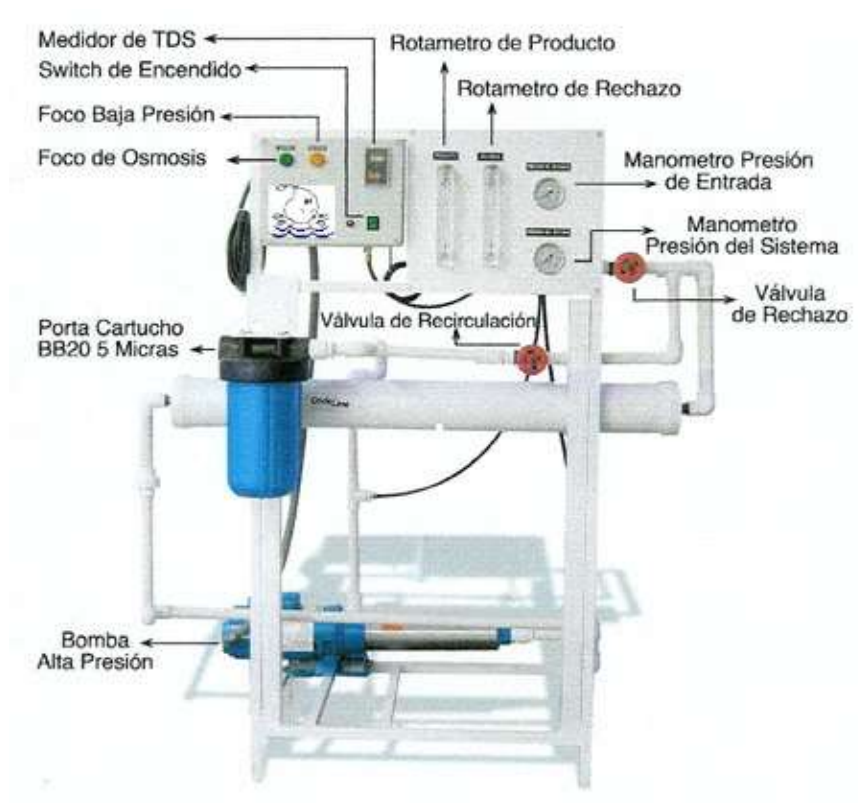
- **Descripción de la tecnología:** La osmosis es un fenómeno físico-químico que tiene lugar cuando dos soluciones acuosas de diferente concentración entran en contacto a través de una membrana semipermeable. El agua fluye a través de la membrana hasta igualar en los dos compartimentos la concentración. Este fenómeno se produce gracias a lo que denominamos presión osmótica.

La ósmosis inversa (OI) es el paso forzado de agua a través una membrana en contra de la presión osmótica natural con el objeto de separar iones. Una delgada capa de acetato de celulosa (0,1 a 0,15 mm) separa dos soluciones.

El agua del lado de baja concentración de sales fluye a través de la membrana hacia la solución de alta concentración para tratar de igualar el contenido. Si se aplica una presión en el sentido contrario, el agua invierte el sentido natural del flujo. Esta presión es la osmótica y para el agua de mar tiene un valor aproximado de 2,4 MPa. Los equipos de ósmosis inversa operan entre 2,4 a 10 MPa con un intervalo típico de 4,1 a 5,5 MPa. La tasa de transferencia de agua depende básicamente de la concentración, las características de la membrana y la presión aplicada.

La ósmosis inversa retiene especies del orden de 0,0001 μm , que están en el intervalo de tamaños iónicos o moleculares. Aunque las especies orgánicas de bajo peso molecular, tales como, alcoholes, azúcares, ácidos y a veces tintes, son también usadas para catalogar membranas de ósmosis inversa, éstas son evaluadas normalmente contra soluciones de cloruro de sodio y sulfato de magnesio.

Esta tecnología funciona generalmente mediante membranas de poliamida semipermeables, enrolladas en espiral, que actúan de filtro, reteniendo la mayor parte de las sales disueltas al tiempo que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniéndose un agua de alta pureza. Al ser membranas densas, no porosas, muestran una alta resistencia hidráulica presentando valores de permeabilidad al agua bajos ($0,05 - 1,4 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$). En estas membranas el rechazo de solutos no ocurre mediante filtración, sino que el mecanismo de transporte característico es el de disolución-difusión a través de la membrana. En conclusión, esta membrana funciona como unapared de separación selectiva de acuerdo a lo cual este procedimiento garantiza el tratamiento desalinizador físico, químico y bacteriológico del agua.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Arsénico, cianuro, mercurio.
Normas de emisión:	Sólidos Suspendedos Totales (SST), aluminio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, cloruros, hierro, manganeso, mercurio, sulfatos, fluoruros.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos Suspendedos Totales (SST), aluminio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, cloruros, hierro, manganeso, mercurio, sulfatos, fluoruros, nitratos, nitritos.
Parámetros no normados:	Bario, cromo total, radio.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

• **Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado
Pre-tratamiento:	Coagulación, procesos de precipitación, separadores de aceite/agua, resinas de adsorción, microfiltración y ultrafiltración.
Temperatura:	Opera a temperatura ambiente (2 – 30°C)
Selectividad:	Selectiva
Tipo de operación:	Continua

• **Eficiencia de remoción**

	Color (%)	DBO5 (%)	Nitritos (%)	Nitratos (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	n.d	n.d
Máximo	99	100	100	100
	Hg (%)	Bario (%)	SST (%)	
Mínimo	n.d	n.d	n.d	
Promedio	n.d	n.d	n.d	
Máximo	99	100	99	

(n.d: no definido). Eficiencia de remoción no determinada: arsénico, cianuro, mercurio, aluminio, cadmio, cobre, plomo, cloruros, hierro, manganeso, sulfatos, fluoruros, cromo total, radio.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** 250 – 379.000 m³/d
- **Caudal de efluente a generar:** 95-99 %
- **Reactivos utilizados según caudal:** ácidos e inhibidores.
- **Consumo de energía:** Presenta un consumo alto de energía, en el rango de 2,8 – 8,5 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes son las siguientes;
 - Algunos minerales alcalinos beneficiosos también son removidos junto con los nocivos, lo que hace el agua más ácida, pudiendo dañar las tuberías y otros aparatos del sistema.
 - El proceso es bastante lento, un sistema de producción de 15 galones al día.
 - Se requiere la sustitución de membranas cada cierto tiempo.
 - Genera entre un 30 y 60 % de rechazo (lavado de la membrana) según el agua tratada.
 - El proceso de instalación es complicado y necesita un operador profesional.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Generalmente el efluente es agua de alta pureza, bien para aplicaciones de laboratorio o proceso industriales posteriores que requieren esta calidad del agua.

• **Subproductos generados**

Residuos	Los propios materiales de membrana.
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** 5 años referidos a la vida útil de las membranas. La vida útil de la planta en general puede ser de 20 años considerando la mantención adecuada.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas.	<p>- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_T, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>
Industria productos químicos (Farmacéutica)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC.
Industria elaboración de productos lácteos.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Elaboración de productos de harinas y pastelería.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de bebidas.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
Ganadería (cría de animales).	DBO ₅ , N _T , P _T , Cu, Zn y TOC (Carbono orgánico Total).

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Aguasin	http://www.aguasin.com
	Soecol	http://www.soecol.cl/
	Conagua	http://www.conagua.cl/
Extranjero	Ampac (USA)	http://ampac1.com/
	Procesos hidráulicos (España)	http://www.procesoshidraulicos.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se utiliza actualmente en Chile.

CASOS DE APLICACIÓN

La Minera Gaby, perteneciente a Codelco Chile tiene una planta de tratamiento con caudal de 175m³/hora de agua purificada mediante un proceso de filtración y osmosis reversa de doble paso totalmente automatizado.

Orafti S.A., empresa de capitales belga especializada en la producción de insulina a partir de achicorias, decidió instalar en el año 2005 una Planta Industrial de producción en las cercanías de Chillán, VIII Región, Chile, para contar con una producción contra cíclica con las del Hemisferio Norte. Esta planta produce un caudal de 120m³/hora de agua purificada en 3 trenes de 40m³/hora cada uno en un proceso de filtraciones y tratamiento por osmosis reversa, con un diseño totalmente automatizado.



Figura 1: Planta de osmosis reversa, Codelco (Chile).



Figura 2: Planta de osmosis reversa Orafti S.A. (Chile).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología de osmosis inversa suele llevar acoplado un tratamiento primario de filtración y/o tratamiento físico - químico. Como ejemplo, Aquasin diseñó y puso en marcha una planta de tratamiento de aguas en Puerto Ordaz, Venezuela. El tratamiento consiste en un proceso de osmosis inversa de doble paso con pretratamiento con carbón activo y elementos absorbentes, así como un pulidor final mediante intercambio iónico. El agua es utilizada para el proceso en fibra de adhesivo (resina) para la operación de los tableros de MDF.

ESTIMACIÓN COSTOS

Como la mayoría de tecnologías de membrana, la osmosis inversa se caracteriza por unos costos de inversión elevados. Sin embargo, teniendo en cuenta su utilización a largo plazo y en continuo, los costos de operación y mantenimiento son mínimos.

PLANTA ÓSMOSIS INVERSA					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$)(1)	Costo obra civil (US \$)(2)	Costos inversión total (US \$)(1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
Caudal 1	10	192.000	48.000	240.000	81.000

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

Caudal 2	60	480.000	120.000	600.000	156.000
Caudal 3	100	1.444.800	361.200	1.806.000	466.900
Caudal 4	150	1.920.000	480.000	2.400.000	597.000
Caudal 5	810	8.462.780	2.115.695	10.578.475	2.538.834
Caudal 6	1.500	12.248.328	3.062.082	15.310.410	3.827.603
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -4,1951 x^2 + 16.513 x - 25.270$		Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 139.440 a 15.305.255 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = -0,8415 x^2 + 3793,9x + 27.524$		Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 65.379 a 3.824.999 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$/Kg)			
Ácido	6,8	40,25			
Inhibidor	3	23			
Consumo energético planta					
2,8 – 8,5 kWh/m ³					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)			
15		0,44 (1,85 m. altura)			
30		5,3 (2,3 m. altura)			
Personal calificado necesario para la planta					
Número de personas		Especialización del personal	Costo (US \$/año)		
Dos (2). El uso de herramientas informáticas de telecontrol permite realizar el seguimiento de cada instalación desde las oficinas centrales, consiguiendo una perfecta interacción con los operadores de las plantas.		Supervisor (Alta) Operador (Media)	Supervisor (29.800) Operario (17.800)		
Control y monitoreo					
En función del nivel de sólidos disueltos se selecciona el tipo de membrana a utilizar. Cada tipo de membrana trabaja a una determinada presión. Los rangos de operación se encuentran entre los 50 ppm y 50.000 ppm de concentración y los 300 psi y 1000 psi de presión. La temperatura de trabajo no debe exceder de 30°C. Se calculan unos costos promedio de 1,15 \$ / m ³ .					

Vida útil de los equipos

20 años. Con un adecuado pretratamiento, un equipo de ósmosis inversa no debería pasar más de una mantención anual; la vida útil de las membranas debería ser de 5 años. El pretratamiento puede incluir algunas de las siguientes etapas (a) filtración (b) eliminación de cloro (c) irradiación ultravioleta (d) coagulación / floculación (e) ultrafiltración.

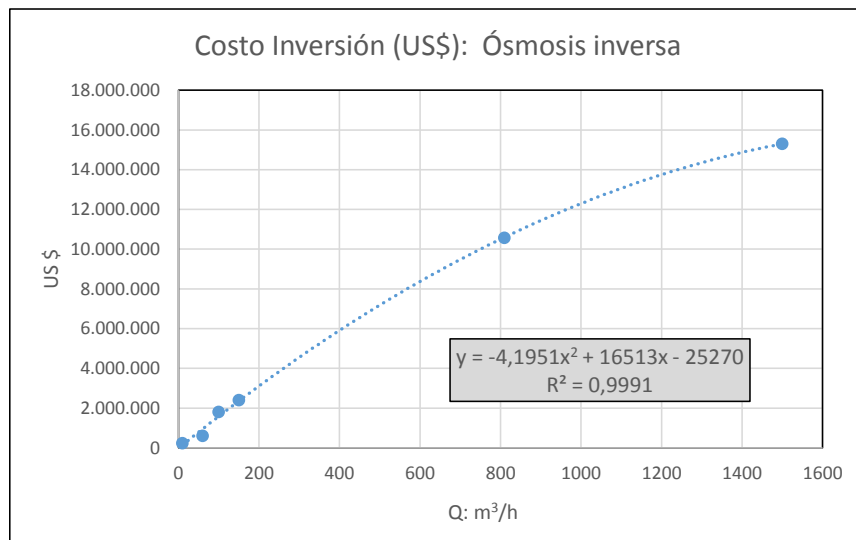
Costo estimado a partir del caudal 5 mediante factor de capacidad y exponente de Williams (exponente = 0,6).

Los costos de equipos y obra civil han sido calculados asumiendo que estos costos equivalen al 80 y 20% respectivamente, de los costos totales de inversión. El costo de operación y mantenimiento correspondientes al caudal 6 se ha determinado como un 25% del costo de inversión total, en función de la tendencia de los costos de operación y mantenimiento en porcentaje para los caudales Q2-Q5.

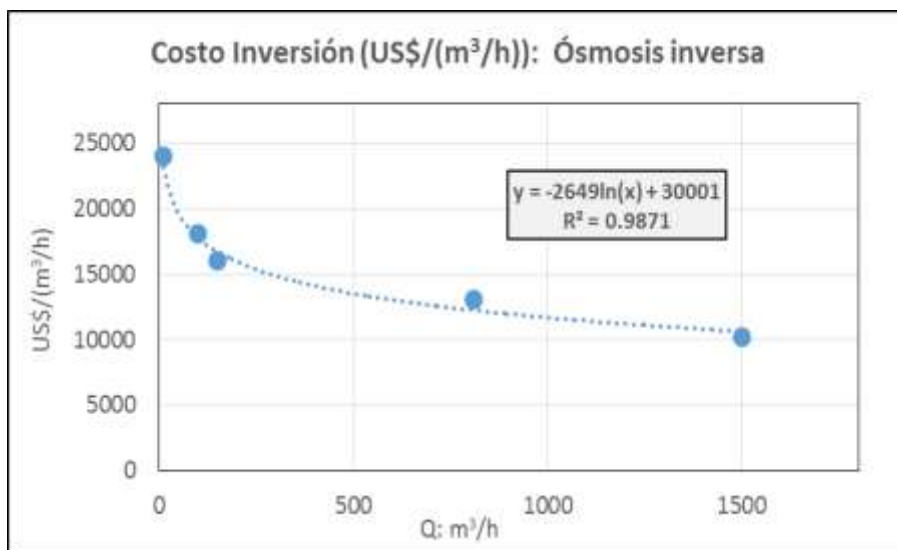
Nota: Los costos de operación y mantenimiento correspondientes a los caudales Q1-Q5 corresponden a valores del proveedor / bibliográficos, variando entre un 24 % del costo de inversión (Q5) y un 33.75% (Q1).

- Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

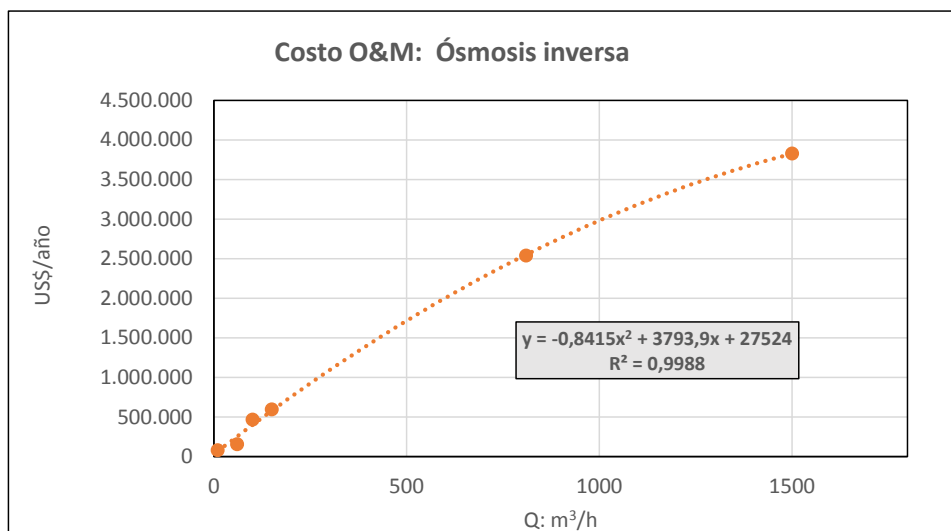


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

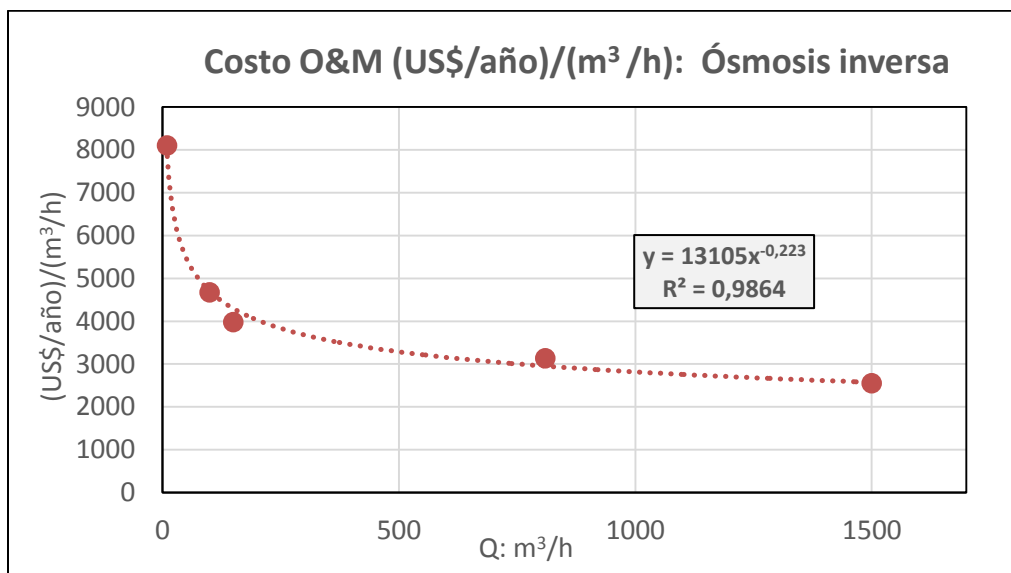


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chacón Villalobos Alejandro, 2006. Tecnologías de membrana en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana* 17(2), ISSN: 1021-7444, pp. 243-264.
2. D. Mourato. Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. Zenon Environmental Inc. Burlington, Ontario, Canadá.
3. Guizard Christian, 1999. Técnicas de membrana de filtración de líquidos: Microfiltración – Ultrafiltración – Nanofiltración – Ósmosis inversa., Universidad de Los Andes, Venezuela.
4. J. Brady Francis. Tratamiento de Aguas Residuales por Ultrafiltración en operación de lote modificado.
5. Microfiltración. Instrumentación científico técnica. www.ictsl.net
6. Planta de Tratamiento de Agua Potable, Mayniland.
7. Restrepo Gallego Mauricio, 2006. Cleaner Production in food industry. Producción + limpia.
8. Romero González Jorge Francisco, 2010. Control Avanzado en Procesos Industriales de Microfiltración y Ultrafiltración tangencial, Universidad Politécnica de Valencia.
9. Saavedra Aldo, Romero Julio. Aspectos generales sobre procesos y tecnologías de membrana. Dep. Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile.
10. Unidades de Microfiltración. OTEC

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

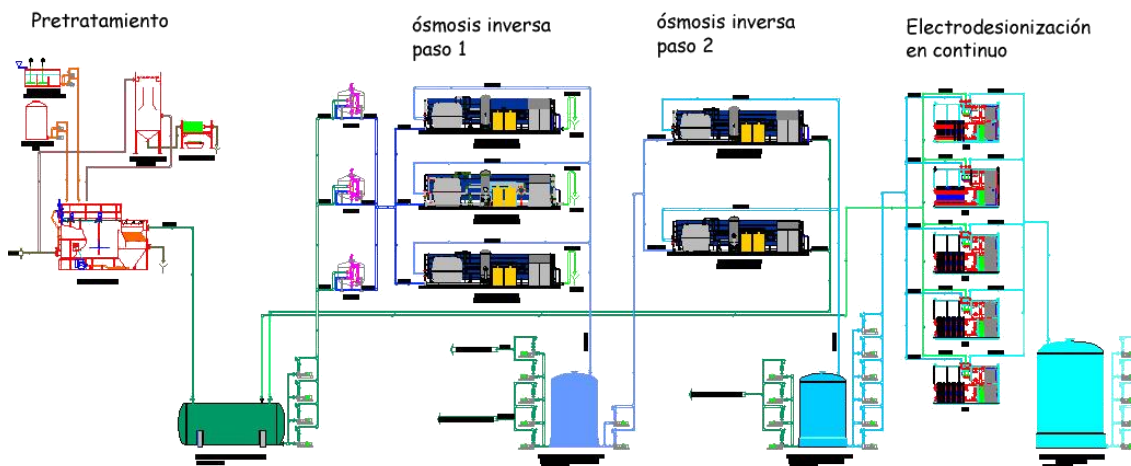
1. Califica Ambientalmente el proyecto "Planta de Tratamiento de Agua Potable de Ósmosis Inversa Planta Placilla - Aguas Chañar S.A. " Resolución Exenta N° 050, 2011. Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA. https://www.e-seia.cl/archivos/DIA_Planta_de_Osmosis_Copiapo_REV_0.pdf

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

2. Especificaciones técnicas Veolia <http://www.veoliawaterst.com/news-media/brochures/?cats=3&page=2>
3. Jwala Raj Sharma, 2010. Development of a preliminary cost estimation method for water treatment plants. University of Texas and Arlington.
4. Ramírez González Antonio, Santacruz Lara Carolina, Garrido Hoyos Sofía, Fuentes Díaz Manuel, Calderón Molgora César, Montellano Palacios Leticia. Análisis del costo de tratamiento en tres tipos de fuente para entregar agua potable a las ciudades de Guaymas y Ensenada, México. <http://www.noalnovillo.com/proyecto.pdf>

TECNOLOGÍA DE ELECTRODESIONIZACIÓN EN CONTINUO

Descripción de la tecnología: La electrodesionización en continuo (CEDI) es una tecnología que emplea una combinación de membranas de intercambio iónico, resinas de intercambio iónico y un campo eléctrico de corriente continua para desionizar el agua. Los diseños estándar para obtener agua purificada, agua para inyectables y agua de alta pureza emplean una combinación de ósmosis inversa y electrodesionización en continuo. Con este diseño el proceso CEDI puede producir agua con concentraciones de iones específicos cercanas o inferiores a los límites de detección. El proceso CEDI está en la actualidad ampliamente aceptado para la producción de agua de alta pureza en la industria energética, industria farmacéutica y microelectrónica. A continuación se presenta un esquema del proceso de electrodesionización en continuo.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	No aplica.
Normas de emisión:	Cloruro, sulfato, aluminio, boro, manganeso, zinc.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Cloruro, nitrato, fosfato, sulfato, sodio, amonio, potasio, calcio, aluminio, boro, manganeso, zinc.
Parámetros no normados:	No aplica.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado.
Pre-tratamiento:	El pre-tratamiento consiste en un sistema de clarificación en base y filtración multimedia tricapa. Además se utilizan dos procesos de osmosis inversa previo a la desionización.
Temperatura:	80°C
Selectividad:	Altamente selectiva
Tipo de operación:	Esta tecnología inicialmente se utilizaba solo en discontinuo, actualmente al agregar procesos adicionales de pretratamiento como la Osmosis Inversa (RO), es posible realizar la operación de forma continua.

- **Eficiencia de remoción**

	Cloruro (%)	Nitrato (%)	Fosfato (%)	Sulfato (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	98	98	98	95
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d
	Sodio (%)	Amonio (%)	Potasio (µg/L)	Calcio (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	98	98	98	98
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d
	Aluminio (%)	Boro (%)	Litio (%)	Manganeso (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	97	95	98	98
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d

(n.d: no determinado). Eficiencia de remoción no determinada: zinc.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** En función del diseño de la planta.
- **Caudal de efluente a generar:** 95 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No utiliza reactivos.
- **Consumo de energía:** 0,15 y 0,8 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** Normalmente el agua debe ser sometida a un tratamiento previo utilizando osmosis inversa.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Sí, principalmente para la industria farmacéutica, en el sector de la energía (calderas de alta presión), veterinaria, cosmética, biotecnología e industria microelectrónica.

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

• **Subproductos generados**

Residuos	Metales concentrados.
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** Cinco años, el ciclo de vida del sistema puede ser prolongado basado en la calidad del agua pretratada.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
Ganadería (cría de animales).	DBO ₅ , N _T , P _T , Cu, Zn y TOC (Carbono orgánico Total).
Minería.	<p>Varían en función del metal extraído.</p> <ul style="list-style-type: none"> Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). Explotación Cu: pH, conductividad, S²⁻, metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). Explotación Au y Ag: CN⁻, As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO₄²⁻.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	RWL Water Southern LATAM	http://www.rwlwater.com/
	Aguasin	www.aguasin.cl
Extranjero	RWL Water Southern LATAM	http://www.rwlwater.com/
	General Electric	http://www.gewater.com/es

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se encuentra actualmente disponible en Chile. Como ejemplo, la empresa Aguasin ha llevado a cabo proyectos en las centrales hidroeléctricas de emergencia de Los Pinos y Airgener.

Por otra parte la electrodesionización permite obtener agua ultrapura para posterior uso en la industria farmacéutica y electrónica.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN



Figura 1: Sistema Avanzados de electrodesionización "ORION", combina tecnología de osmosis inversa y electrodesionización en continuo en sistemas sanitizables.



Figura 2: Equipos modulares de electrodesionización en continuo para producción de agua desionizada para calderas de alta presión (producción 2.850 m³/día).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Generalmente y tal como se indica en el esquema inicial, la electrodesionización lleva acoplados tratamientos primarios y secundarios, así como un tratamiento previo de osmosis inversa, de forma que cuando el efluente llega a la celda de electrodiálisis la carga de parámetros es baja minimizando el daño en las membranas del equipo.

ESTIMACIÓN COSTOS

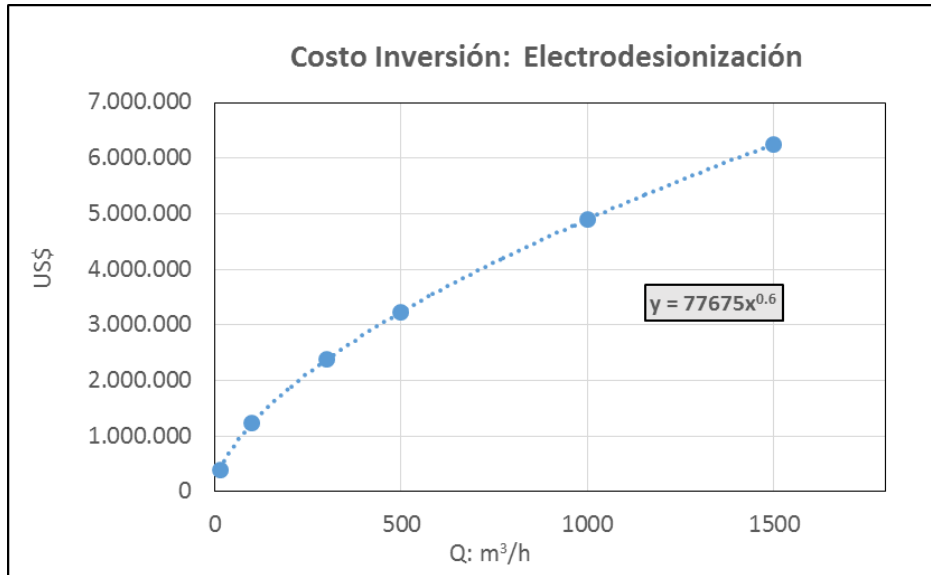
La introducción de diseños basados en la combinación de la ósmosis inversa y electrodesionización en continuo ha permitido reducir los costes de operación, eliminar la manipulación de productos corrosivos y reducir el impacto ambiental al eliminar los vertidos procedentes de la regeneración de resinas catiónicas y aniónicas.

PLANTA ELECTRODESIONIZACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
<i>Caudal 1</i>	15	335.240	54.160	394.400	17.739
<i>Caudal 2</i>	100	1.046.407	184.660	1.231.068	55.370
<i>Caudal 3</i>	300	2.022.897	356.981	2.379.879	107.040
<i>Caudal 4</i>	500	2.748.419	485.015	3.233.435	145.431
<i>Caudal 5</i>	1000	4.165.825	735.145	4.900.971	220.432

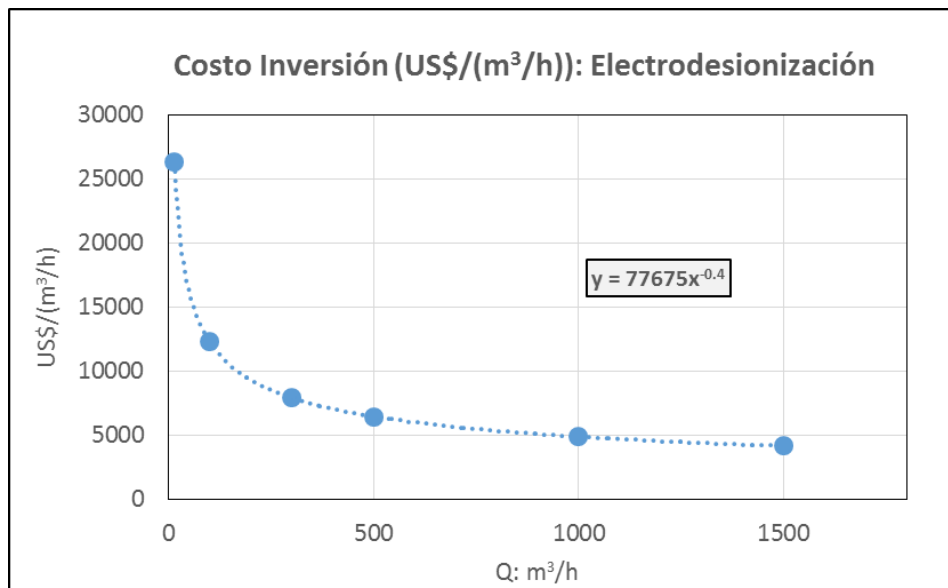
Caudal 6	1500	5.313.196	937.622	6.250.819	281.144
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = 77675x^{0,6}$		Rango de aplicación: 15 a 1.500 m ³ /h Costos de: 394.399 a 6.250.806 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 3493,6x^{0,6}$		Rango de aplicación: 15 a 1.500 m ³ /h Costos de: 17.739 a 281.144 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)			
n.a	n.a	n.a			
Consumo energético planta					
0,15 y 0,8 kWh/m ³ , la mayor parte del costo total de operación corresponde a la potencia eléctrica consumida por el equipo de osmosis inversa empleado como pretratamiento.					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)			
1,7 – 4,5		0,0015 (0,06 m. altura)			
6,8		0,72 (1,88 m. altura)			
10,2		0,96 (1.88 m. altura)			
Personal calificado necesario para la planta					
Número de personas		Especialización del personal	Costo (US \$/año)		
Dos (2). El uso de herramientas informáticas de telecontrol permite realizar el seguimiento de cada instalación desde las oficinas centrales, consiguiendo una perfecta interacción con los operadores de las plantas.		Supervisor (Alta) Operador (Media)	Supervisor (29.800) Operario (17.800)		
Control y monitoreo					
Control sobre los pretratamientos previos (osmosis inversa) con objeto de asegurar que el efluente que entra a la celda de electrodiálisis no lleva ningún tipo de materia en suspensión y las concentraciones en disolución están en rangos adecuados para evitar el daño de las membranas.					
Vida útil de los equipos					
5 años. El ciclo de vida del sistema puede ser prolongado basándose en la calidad del agua pretratada.					
Caudales calculados a partir del caudal 1 mediante factor de escala y exponente de Willians (exponente = 0,6), suponiendo una planta que opera 12 h/día.					
Los costos de equipos y obra civil han sido calculados según datos bibliográficos y de proveedores, equivalentes al 85 y 15% respectivamente de los costos totales de inversión.					

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

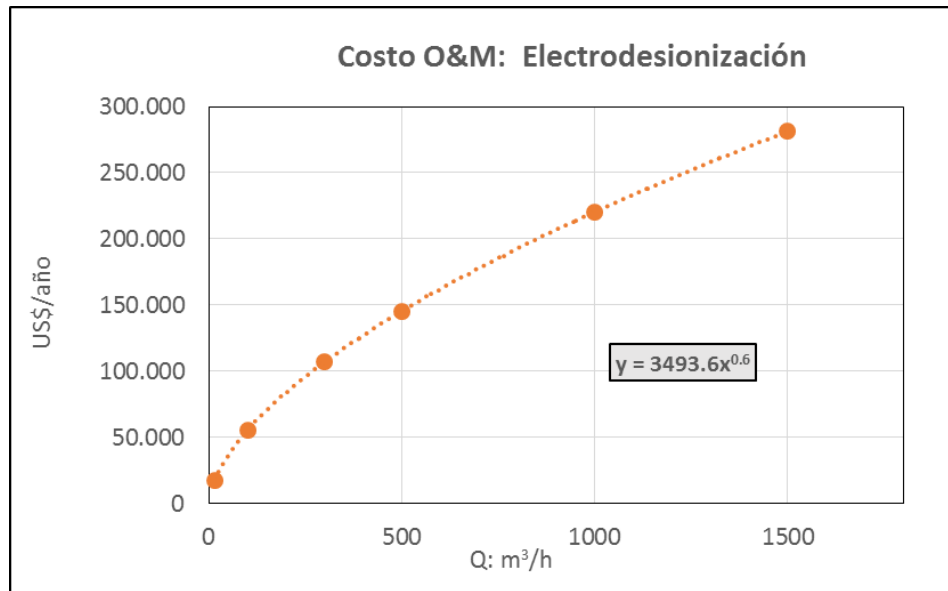


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

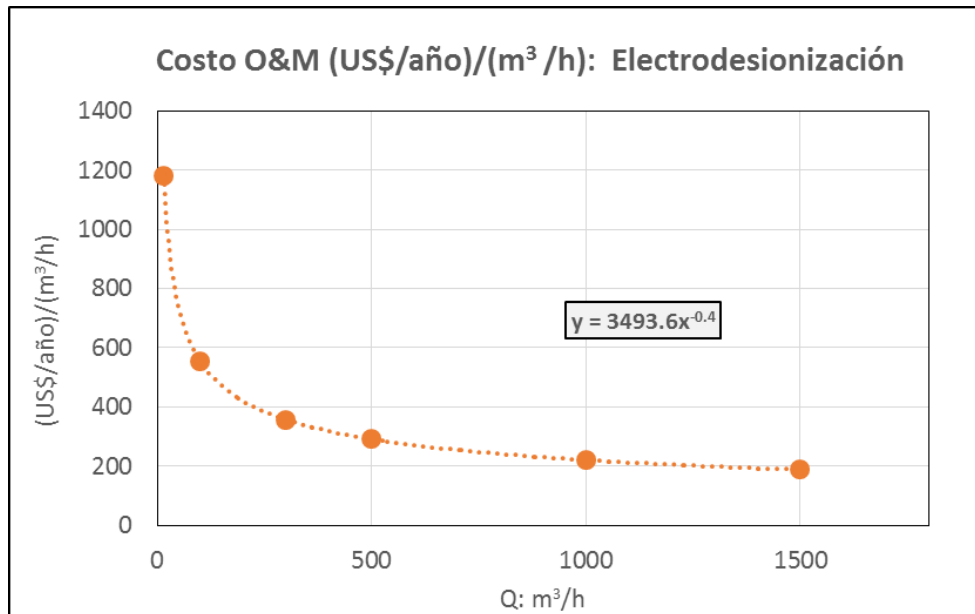


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

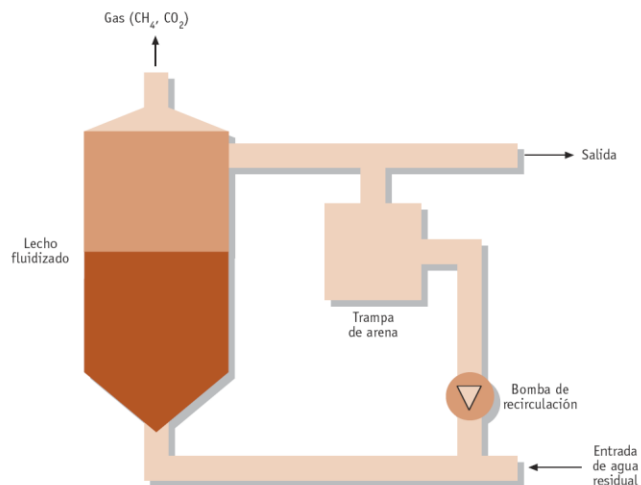
1. Aplicaciones tecnologías de membrana. <http://www.rwlwater.com/power-plants-in-asia-require-increased-water-treatment/>
2. Dailey Paulson L. 2012. ¿Qué es la electrodesionización? RWL Water Group. <http://www.rwlwater.com/que-es-la-electrodesionizacion/?lang=es>

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Especificaciones técnicas Eurowater <http://pdf.directindustry.com/pdf/silhorko-eurowater-s/electrodeionization-edi/57038-72951.html>
2. Especificaciones técnicas Lenntech [https://knowledgecentral.gewater.com/kcpguest/salesedge/docquery.do?query=&documentType=Fact%20Sheets&pole=all&language=English&equipmentLine=Electrolytic%20Systems%20\(ED/EDI/EDR\)&treatmentType=EDI&productSeries=E-Cell,MK-3&treatmentWithParent=Electrolytic%20Systems%20\(ED/EDI/EDR\):EDI&productWithParent=Electrolytic%20Systems%20\(ED/EDI/EDR\):E-Cell,Electrolytic%20Systems%20\(ED/EDI/EDR\):MK-3&fatherLevel=equipment:Electrolytic%20Systems%20\(ED/EDI/EDR\) 8&numHits=200&offset=0&searchwithin=false&action1=fast](https://knowledgecentral.gewater.com/kcpguest/salesedge/docquery.do?query=&documentType=Fact%20Sheets&pole=all&language=English&equipmentLine=Electrolytic%20Systems%20(ED/EDI/EDR)&treatmentType=EDI&productSeries=E-Cell,MK-3&treatmentWithParent=Electrolytic%20Systems%20(ED/EDI/EDR):EDI&productWithParent=Electrolytic%20Systems%20(ED/EDI/EDR):E-Cell,Electrolytic%20Systems%20(ED/EDI/EDR):MK-3&fatherLevel=equipment:Electrolytic%20Systems%20(ED/EDI/EDR) 8&numHits=200&offset=0&searchwithin=false&action1=fast)
3. García I, Sanz J., 2011. Electrodesionización en continuo (CEDI) para aplicaciones industriales: calderas de alta presión. Dirección Técnica. VEOLIA WATER Systems Ibérica, solutions & technologies.
4. García I., Sanz J., 2011. Electrodesionización en Continuo (CEDI) para aplicaciones industriales: calderas de alta presión. Veolia Water Systems Ibérica. Dirección Técnica. http://www.veoliawaterst.es/vwst-iberica/ressources/documents/1/17802,Energiza_mayo_2011-2.pdf

TECNOLOGÍA DE REACTOR ANAEROBIO DE LECHO FLUIDIZADO (RALF)

Descripción de la tecnología: El reactor anaerobio de lecho fluidizado es una tecnología de membrana. Este montaje consiste en columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso (arena, piedra pómez, biolita, etc.) de un tamaño variable (1-5 mm) con el objetivo de generar una biopelícula bacteriana sobre su superficie que lleve a cabo la degradación anaerobia. Esta tecnología requiere recircular el líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente como para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas. A pesar de la alta eficacia de esta tecnología a escala laboratorio/planta piloto ya que se consiguen altas concentraciones de microorganismos así como una muy buena mezcla en el lecho, su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se crearon.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Coliformes fecales, pH, color.
Normas de emisión:	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables, coliformes fecales, cloruros, aceites y grasas, pH, nitrógeno total.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales, cloruros, aceites y grasas, pH, nitrógeno total, color.
Parámetros no normados:	DQO, fenol, 2, 4,6 triclorofenol, turbidez.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	El tiempo hidráulico de retención suele ser inferior a 1 día. El cálculo exacto viene determinado en función de la geometría (altura) del reactor.
Pre-tratamiento:	Previo tratamiento de desbaste y desarenado, filtrado previo.
Temperatura:	35-40°C
Selectividad:	No es selectivo
Tipo de operación:	De lecho fluidizado

- **Eficiencia de remoción**

	DQO (%)	2, 4,6 triclorofenol (%)	Fenol	DBO5 (%)
Mínimo	80	n.d	72	80
Promedio	82.5	> 90	79	88
Máximo	85	n.d	86	95
	SST (%)	Solidos sedimentables (%)	Coliformes fecales (%)	Nitrógeno total (%)
Mínimo	80	80	n.d	n.d
Promedio	85	85	99	90
Máximo	90	90	n.d	n.d

(n.d: no definido). Eficiencia remoción no determinada: pH, color, cloruros, aceites y grasas, turbidez.

- ***Capacidad de tratamiento por caudal:*** La capacidad de tratamiento del caudal será función del diseño del reactor, pero podemos hablar de un rango entre 30 – 50.000 m³/d.
- ***Caudal de efluente a generar:*** 95% del caudal inicial.
- ***Reactivos utilizados según caudal:*** Inóculos, elementos traza y factores de crecimiento.
- ***Consumo de energía:*** 0,02-1 kWh/m³.
- ***Condiciones limitantes:*** Las condiciones limitantes son las siguientes;
 - Es necesario un mínimo de equipo y de operadores, lo que nos lleva a una economía de escala y persona.
 - Iniciar el proceso de arranque del reactor requiere un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado. En los casos en que no se cuenta con inóculos adecuados, esta etapa se puede prolongar incluso hasta condiciones críticas en las que nunca alcanza la estabilidad. Por ello, el arranque de reactores anaerobios requiere contar con herramientas apropiadas para la obtención y evaluación de los inóculos más eficientes.

- Una vez que el reactor está funcionando, el principal inconveniente del lecho fluidizado es el consumo de energía de bombeo, dado que generalmente es necesario operar con grandes relaciones de recirculación para alcanzar velocidades superficiales lo suficientemente elevadas como para mantener las partículas suspendidas. Sin embargo, la caída de presión que se produce en el lecho es baja comparada con otro tipo de reactores como puede ser el lecho fijo, por lo que estos costes de bombeo son relativamente más reducidos.

- Para que se tenga una adecuada producción de metano se debe mantener un valor de pH entre 6.5 y 7.5 unidades. Con valores de pH inferiores a 6.5, las bacterias metanogénicas pueden incluso morir.

- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos? Si, para riego de áreas verdes.**
- **Subproductos generados**

Residuos	Lodos, una vez deshidratados en lechos de secado pueden utilizarse como fertilizante agrícola.
Emisiones	El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos: (1) generación de calor o electricidad para posterior uso en calderas, motores o turbinas (2) pilas de combustible (3) uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado. (4) combustible de automoción. Una de las características asociadas a la tecnología anaerobia es la producción de malos olores, atribuida a la generación de compuestos azufrados como el H ₂ S en el biogás. Estos compuestos tienen un olor desagradable que se ha convertido en la principal causa para que se exija el cubrimiento total del sistema de tratamiento y un adecuado y efectivo sistema de recolección, tratamiento y disposición del biogás y de los gases generados.

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, en referencia a las bombas de impulsión y motores de aireación con un adecuado mantenimiento.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas.	<p>- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>

Industria de manipulación y transformación de carne y pescado.	DBO, DQO, SST, MES, pH, aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, cloruros.
--	--

PROVEEDORES

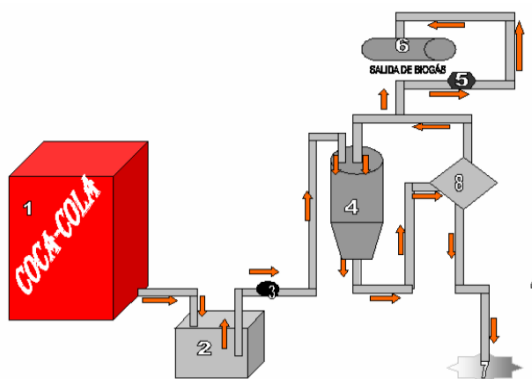
Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No determinado	No aplica
Extranjero	Shandong Jinhaosanyang Environmental Protection Equipment Co., Ltd. (China)	http://www.jinhaosanyang.com.cn/
	Brewchem International (Inglaterra)	http://www.bciprocess.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

En la actualidad esta tecnología se utiliza puntualmente en Chile en el ámbito de tratamiento de aguas residuales y lixiviados.

CASOS DE APLICACIÓN

Plantas de tratamiento de aguas residuales de la embotelladora de Coca-Cola, en México, que funciona con un caudal de tratamiento de 350 m³/d.



1. Agua residual proveniente de la embotelladora.
2. Tanque de almacenamiento para el agua proveniente de la planta.
3. Bomba para el flujo de alimentación al reactor.
4. Reactor biológico.
5. Compresor.
6. Tanque de almacenamiento para el gas (metano).
7. Descarga de agua tratada (alcantarilla).
8. Separador

Figura 1: Esquema del proceso de tratamiento de aguas residuales en la embotelladora Coca-Cola.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces, al menos en escala laboratorio o planta piloto. Se consiguen altas concentraciones de microorganismos, así como una muy buena mezcla en el lecho; sin embargo su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se crearon. Esta tecnología de forma independiente no presenta gran aplicabilidad para el

tratamiento de aguas industriales. De forma general, como tratamiento anaerobio, sus eficiencias de remoción se sitúan en torno a un 80-85%, con lo cual, suele ser conveniente acoplar esta tecnología con un tratamiento aerobio (SBR, lagunas de oxidación, filtros biológicos...) para aumentar la eficiencia de remoción de los parámetros a eliminar.

ESTIMACIÓN COSTOS

Como se indicó anteriormente, esta tecnología, de forma independiente, no presenta gran aplicabilidad para el tratamiento de aguas industriales. En general se ha aplicado a experiencias a escala piloto o de laboratorio. Este tipo de tecnología es adecuada para aguas con bajo contenido en sólidos suspendidos o para unidades de tratamiento que cuenten con sistemas de retención (rejas / tamices / desarenadores / sedimentadores) aguas arriba.

RALF					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento* (US \$)
Caudal 1	16,7	> 318.825	< 35.425	354.250	n.d
Caudal 2	30	> 380.078	< 42.230	422.309	n.d
Caudal 3	50	> 443.025	< 49.225	492.250	n.d
Caudal 4	100	> 545.427	< 60.603	606.031	n.d
DESGLOSE DE VARIABLES					
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
*Costos de inversión total		$y=152.228x^{0.3}$	Rango de aplicación: 16,7 a 100 m ³ /h Costos de: 354.249 a 606.030 US\$		
Reactivos					
Aditivo		Consumo (kg/m ³)		Costo (US \$)	
Inóculos (microorganismos anaerobios). Se deben emplear cultivos bacterianos adaptados a aguas residuales.		A determinar según cada caso. Como se comentó anteriormente, el proceso de arranque del reactor requiere un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado según el efluente a tratar.		A determinar según inóculo aplicado.	
Elementos traza y factores de crecimiento.		A determinar según cada caso.		A determinar.	
Consumo energético planta					
0.02 – 1 kWh/m ³					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)		

14,6		4,15 (14,5 m. altura)
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Dos (2)	Operador (media) Supervisor (alta)	Supervisor (29.800) Operario (17.800)
Control y monitoreo (entregar descripción de necesidades de control y monitoreo)		
Se debe determinar una serie de parámetros asociados al control del reactor y a la determinación cinética. Para ello se realiza el control del funcionamiento del reactor y se obtienen los datos necesarios para la obtención de la cinética de crecimiento bacteriano y de consumo de sustrato.		
<ul style="list-style-type: none"> - Parámetros de control del reactor (pH, T, alcalinidad, acidez, control de flujos de influente y reciclo). - Parámetros para la determinación cinética (DQO, SSV, producción de biogás, pH, alcalinidad, carga orgánica volumétrica, tiempo de retención hidráulico). 		
Vida útil de los equipos		
20 años, con una adecuada mantención de las bombas de impulsión y motores de aireación.		

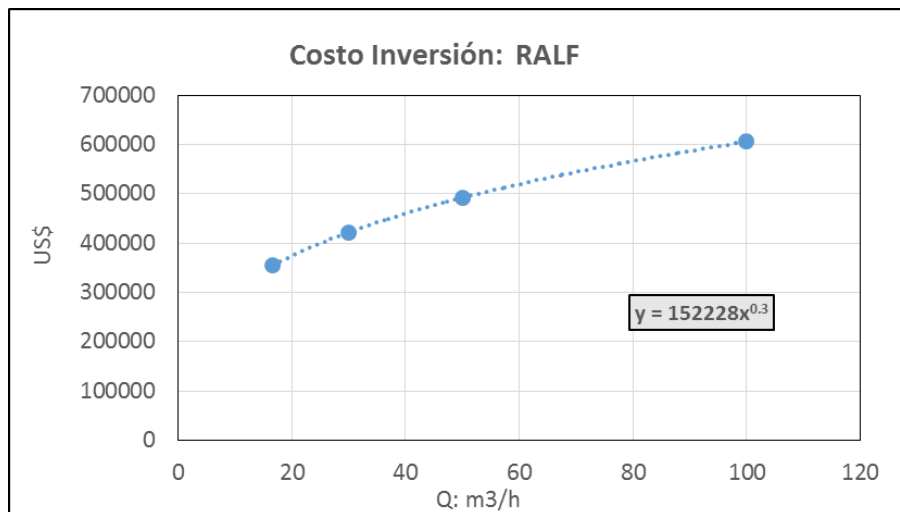
Costos calculados a partir del caudal 1 mediante factor de escala y exponente de Willians (exponente = 0,3).

Los costos de equipos y obra civil, según datos bibliográficos, equivalen al 90 y 10% respectivamente de los costos totales de inversión.

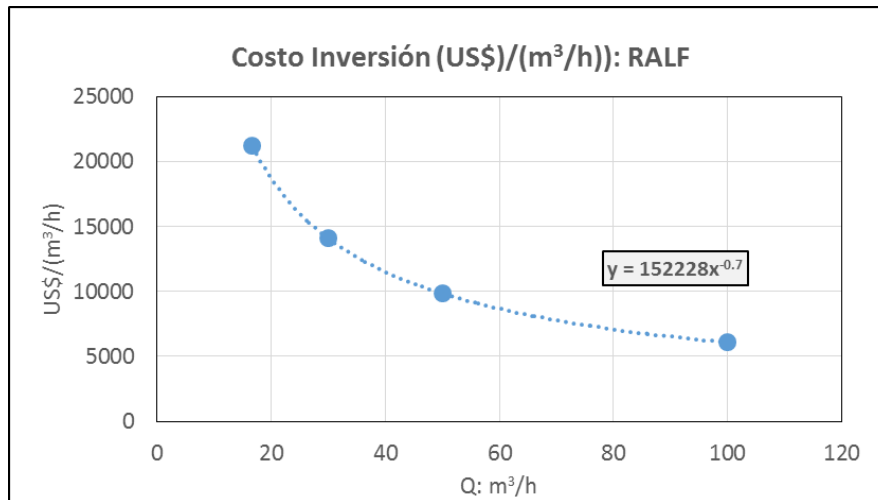
*Como se comentó en la introducción de este apartado, esta tecnología presenta escasas aplicaciones para el tratamiento de aguas industriales. En general, las aplicaciones existentes son experiencias piloto o a escala de laboratorio. El caudal 1 referencia una de estas experiencias. Los costos de operación y mantenimiento no están representados ya que no se dispone de datos para representar de forma fiable dichos costos.

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de US\$/ (m^3/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Claros Carlos, Acosta Andrea, Stia Ezequiel, Delfino Juliana, Higa Luis. Biodegradación de compuestos fenólicos empleando un reactor anaeróbico de lecho fluidizado a escala piloto. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas - Centro de Tecnología del Uso del Agua y el Ambiente, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires.
2. Cuevas-Rodríguez Germán, Tejero-Monzón Iñaki. Tratamiento de Aguas Residuales en un Reactor con Biopel.
3. Cuevas-Rodríguez Germán. Nitrificación y desnitrificación en un reactor biopelícula de lecho sumergido fijo y membranas de microfiltración. División de Ciencia e Ingeniería Ambiental Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV).
4. Estrada Carlos, Garibay Claudio, Ríos Elvira, García Jaime, T. Mario, Macarie Hervé, M. Héctor. Comparación de la eficiencia de remoción del 2, 4, 6 – triclorofenol por biopartículas metanogénicas y lodos suspendidos anaerobios expuestos a concentraciones variables de oxígeno. Dep. Biotecnología y Bioingeniería, México.
5. Hidalgo M. y García Encina P. A. Tratamiento de Aguas Residuales. Reactores biológicos de lecho fluidizado. Grupo de Tecnología Ambiental. Dpto. de Ingeniería Química. Universidad de Valladolid.
6. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2007. Biomasa, digestores anaerobios. ISBN-13: 978-84-96680-21-0.
7. Mengual Melany, 1999. Estructura preliminar de sistemas de tratamiento primario de aguas negras basados en reactores anaerobios de lecho fluidizado para caudales máximos operativos de 5 a 140 L/s., Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería.
8. Moreno Rincón César, 2003. Tratamiento de aguas residuales en la embotelladora Coca-Cola mediante un reactor de lecho fluidizado inverso. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.

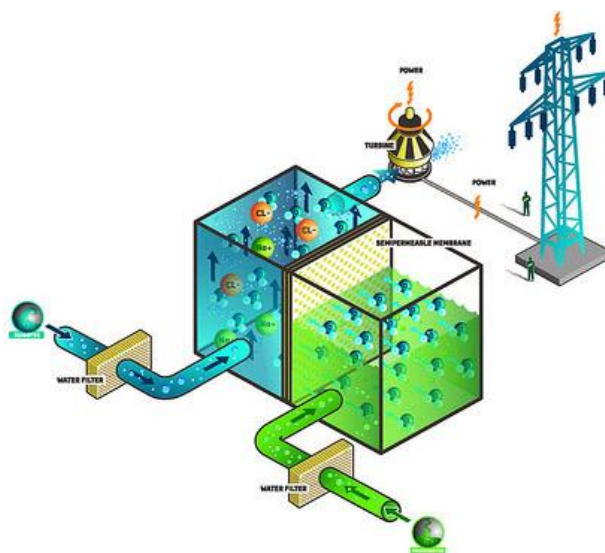
9. Puentes Luz Adriana, 2008. Biodegradación de fenoles en un reactor de lecho fijo anaerobio para el agua residual industrial proveniente de la batería Payoa Petrosantander, Colombia., Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental.
10. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
11. Soewondo Prayatni, Yulianto Andik, sept-dic. 2008. The effect of aeration mode on submerged aerobic Bio filter reactor for grey water treatment. Journal of applied Science in environmental sanitation ISSN 0126-2807 volume 3, number 3, pp. 169-175.

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Moreno Rincón César, 2003. Tratamiento de aguas residuales en la embotelladora Coca- Cola mediante un reactor de lecho fluidizado inverso. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.

TECNOLOGÍA DE ELECTRODIÁLISIS

- **Descripción de la tecnología:** La electrodiálisis (ED) es una tecnología separativa de concentración y descontaminación en la que especies iónicas son transportadas a través de membranas iónicas con permeabilidad selectiva (aniones, cationes) bajo la acción de un campo eléctrico. Las membranas están dispuestas de forma alterna y separadas por espaciadores o placas, en una configuración semejante a los filtros prensa (configuración de placas y bastidores). Los espaciadores provocan turbulencias que evitan las deposiciones de materiales en la superficie de las membranas y homogeneizan la concentración. Cuando una solución que contiene especies iónicas pasa a través de los compartimentos de las células, los aniones migran hacia el ánodo y los cationes hacia el cátodo. El potencial eléctrico es el responsable del flujo de los iones, a través de la membrana. La electrodiálisis reversible (EDR) separa las moléculas o iones en un campo eléctrico en función de la diferencia de carga y la velocidad de transporte a través de la membrana. Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (del orden de 1-2 nm). En la célula de electrodiálisis se sitúa un cierto número de membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo, de forma que cuando se aplica la corriente eléctrica los iones con carga positiva migran a través de la membrana de intercambio catiónico y viceversa.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Arsénico.
Normas de emisión:	Sulfato, arsénico, sólidos suspendidos totales (SST).
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Nitrato, fosfato, sulfato, arsénico, SST.
Parámetros no normados:	Otros parámetros cargados eléctricamente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado.
Pre-tratamiento:	Filtración para retirar la materia particulada que pueda atascar los poros. También se recomienda el pretratamiento para separar sustancias oxidantes como el hierro o el manganeso y evitar que se manchen las membranas (si estos oxidantes están presentes en concentraciones de más de 0,3 mg/l). También conviene realizar un tratamiento de neutralización para evitar la formación de escamas, lo que implica una mejora de la eficacia y vida útil de la unidad.
Temperatura:	Rango de temperatura superior al punto de congelación – 45°C
Selectividad:	Baja
Tipo de operación:	Continua

- **Eficiencia de remoción**

	Sulfato (%)	Nitrato (%)	Fosfato (%)	SST (%)	Arsénico (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	90	90	90	90	n.d
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d	80

(n.d: no determinado). Eficiencia de remoción no determinada: otros parámetros cargados eléctricamente.

- ***Capacidad de tratamiento por caudal:*** El caudal de tratamiento quedará definido en función del diseño.
- ***Caudal de efluente a generar:*** Al igual que en el apartado anterior, el caudal irá en función del diseño.
- ***Reactivos utilizados según caudal:*** No requiere.
- ***Consumo de energía:*** Los sistemas de electrodiálisis y de inversión de electrodiálisis requieren grandes cantidades de energía para producir la corriente constante que impulsa la purificación y bombea el agua a través del sistema. Normalmente esta técnica se utiliza para tratamiento de aguas salobres de baja salinidad (de 1 a 5 g/l de sales totales disueltas), ya que la cantidad de energía eléctrica necesaria para la purificación es directamente proporcional a la cantidad de sales separadas (para aguas con 5 g/l de sales totales disueltas, el consumo de energía eléctrica suele estar entre 1 y 2 Kwh/m³). Por este motivo, la electrodiálisis no se usa mucho en instalaciones de tratamiento de agua de gran escala. Sin embargo, se las puede ajustar para el uso con sistemas pequeños que funcionan automáticamente con pocos requisitos de mantenimiento.

- **Condiciones limitantes:** Las principales condiciones limitantes de esta tecnología son las siguientes:
 - Gran aporte energético con objeto de producir corriente de forma constante para bombear el agua a través del sistema.
 - Esta técnica no puede utilizarse en aguas con dureza superior a 1 ppm.
 - La concentración elevada de iones calcio y sulfato obstruyen y destruyen los materiales base, tanto las resinas como las membranas (poliméricas o cerámicas).
 - Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Si, aplicable para la recuperación y reutilización de concentrados aniónicos y/o catiónicos, siempre que tenga la finalidad de regeneración y reutilización del agua en los siguientes sectores industriales: (1) industria alimentaria, (2) industria gráfica, (3) industria química (4) industria no-metálica (5) industria de metales básicos (6) tratamiento superficial (7) industria textil.
- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** La vida útil de la planta en general puede ser de 20 años considerando mantenencias adecuadas. Por otra parte la vida útil de las membranas se sitúa en torno a 10 años.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria elaboración de productos lácteos	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de bebidas	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria productos químicos (detergentes y jabones)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBd, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difinileter, CN⁻ y F⁻.
Industria productos químicos	PO₄²⁻, NO₃⁻, F⁻, nitrógeno amoniacal, metales (Cd, Cr, Cu, Hg), AOX, SST.
Industria productos químicos (farmacia)	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC
Planta de tratamiento de Riles	- Tratamiento biológico de aguas residuales:

	<p>Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>
--	---

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No detectada	No aplica
Extranjero	Statkraft (Noruega)	http://www.statkraft.com/
	Xinxiang Future Hydrochemistry Co., Ltd. (China)	www.ti-anode.com
	OSMO Membrane Systems GmbH (Alemania)	www.osmo-membrane.de

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

En la actualidad, se conoce la aplicación de la electrodiálisis en la industria vitícola. Esta tecnología permite eliminar los tartratos de forma más inocua para el vino, con un ahorro hasta del 40% en el proceso de estabilización. Esta tecnología no se utiliza a nivel de tratamiento de aguas residuales industriales.

CASOS DE APLICACIÓN

Ampliación y mejora de la Planta Llobregat. Debido a problemas de salinidad se construye una desalinizadora que, mediante un proceso de electrodiálisis reversible (EDR), consigue mejorar las características químicas y organolépticas (sabor, olor) del agua.
<http://www.atll.cat/es/page.asp?id=23>



Figura 1: Estación de tratamiento de agua potable (ETAP) del Llobregat.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Como se comentó anteriormente, la electrodiálisis no se utiliza comúnmente en el tratamiento de efluentes industriales en Chile, sino más bien para la obtención de agua ultrapura para laboratorios y el sector hospitalario / farmacéutico. Sin embargo, a escala piloto si se han dado investigaciones para el tratamiento de efluentes industriales mediante el acople de unidades de electrodiálisis a birreactores anaerobios de micromembrana sumergida (BRM).

ESTIMACIÓN COSTOS

Los costes operacionales de la tecnología se basan principalmente en los costos energéticos. Los costes de mantenimiento se dividen en dos categorías: sustitución de la membrana y reparaciones y/o cambios de otros componentes y equipos.

ELECTRODIÁLISIS					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos	Costo obra civil	Costos inversión total (US \$)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
Caudal 1	0,20	39.419	19.547	58.966	44.644
Caudal 2	0,25	50.321	24.954	75.275	56.992
Caudal 3	0,30	60.385	29.944	90.330	68.390
Caudal 4	0,30	61.643	30.568	92.212	69.815
Caudal 5	0,30	64.160	31.816	95.976	72.665
Caudal 6	0,40	82.192	40.758	122.949	93.087
Caudal 7	0,50	104.836	51.987	156.823	118.733
Caudal 8	36	942.928	467.585	1.410.513	1.545.151
Caudal 9	196	2.161.743	1.071.939	3.233.681	4.271.133
Caudal 10	300	2.790.729	1.383.885	4.174.614	5.513.942
Caudal 11	500	3.791.638	1.880.222	5.671.860	7.491.546
Caudal 12	750	4.835.949	2.398.081	7.234.030	9.554.901
Caudal 13	1.000	5.747.050	2.849.883	8.596.933	11.355.060
Caudal 14	3.600	19.735.098	9.786.365	29.521.464	22.351.199

Los costos asociados a los caudales 4 y 5 han sido calculados para una intensidad de corriente de 79 y 90 Am², respectivamente. Para el resto (caudales 1, 2, 3, 6 y 7) la intensidad de corriente es constante e igual a 50 Am². Datos obtenidos de fuente bibliográfica (Zhang et al., 2012).

FUNCIONES DE COSTOS		
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$		
Costos de inversión total	$y = -3,539x^2 + 10,955x + 1 \cdot 10^6$	Rango de aplicación: 36 a 1.000 m ³ /h Costos de: 1.389.793 a 8.416.000 US\$

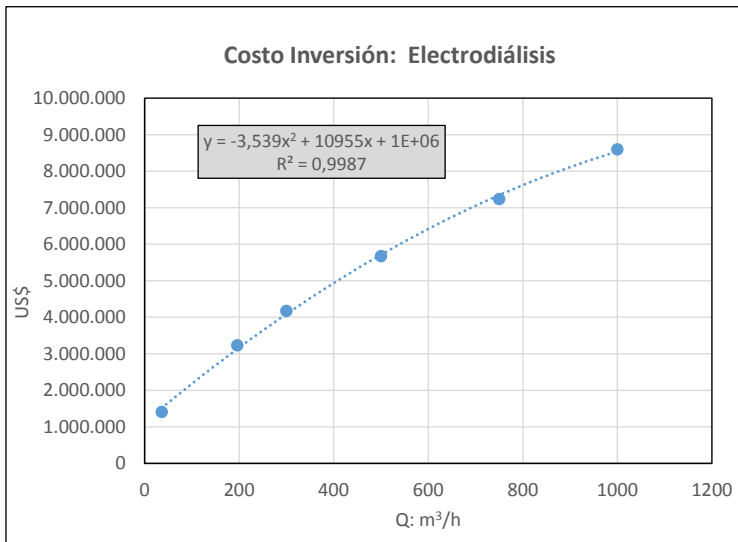
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 150.467x^{0,6313}$	Rango de aplicación: 0,20 a 3.600 m ³ /h Costos de: 54.473 a 26.456.661 US\$/año	
DESGLOSE DE VARIABLES			
Reactivos			
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$/año)	
No aplica	-	-	
Consumo energético planta			
	Caudal (m³/h)	Intensidad de corriente (A m²)	Consumo energético (kWh·m⁻³)
	0,20	50	0,275
	0,25	50	0,210
	0,30	50	0,173
	0,40	50	0,128
	0,50	50	0,106
	0,30	10	0,010
	0,30	90	0,570
Área ocupada por la instalación (Datos referentes a una instalación a escala piloto)			
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)	
0,02		0,1	
Personal calificado necesario para la planta			
Número de personas		Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Mantenimiento (3 turnos/día)		Técnico operario	20.000 (por persona)
Jefe de planta		Técnico ingeniero	35.000
Control y monitoreo requerido			
Control exhaustivo de la temperatura.			
Vida útil de los equipos			
La vida útil de la membrana es difícil de predecir pero normalmente oscila entre los 5 y los 20 años. Este amplio rango se debe a las distintas membranas utilizadas en función de la calidad del afluente, el pretratamiento, las condiciones de operación, etc.			

Estos datos se han obtenido a partir de la extrapolación de los valores reales aplicando el método de Williams con una $n=0,6$, partiendo como base de Q9 (C. inversión) y Q7 (C. O&M). Todos estos valores han sido considerados para obtener las curvas de costos.

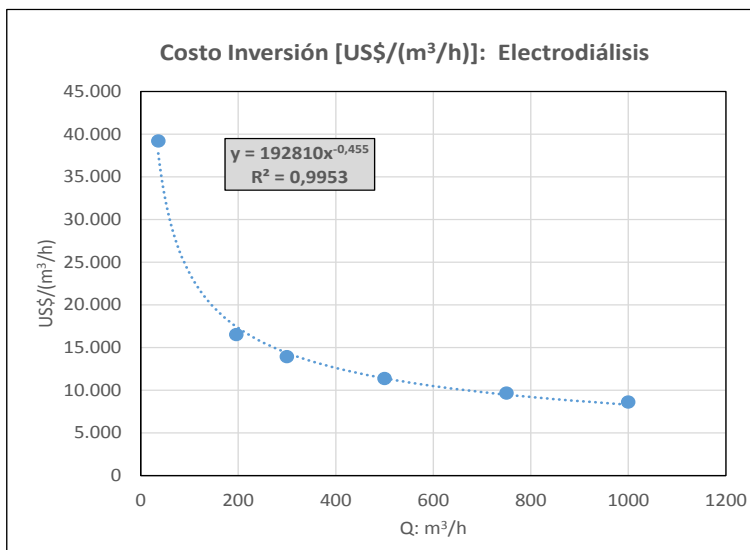
Los valores presentados en azul son datos estimados a partir de la relación entre costos de operación e inversión de los caudales 9 al 13 ($C_{INV}=132,08\%C_{O\&M}$). En el caso de los costos de equipos y obra civil su valor se ha calculado asumiendo el mismo porcentaje respecto al costo total de inversión que se deduce a partir de los datos de caudal 9 ($C_{equipos}=66,85\%C_{INV}$ y $C_{obra}=33,15\%C_{INV}$).

- Representación de las funciones costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

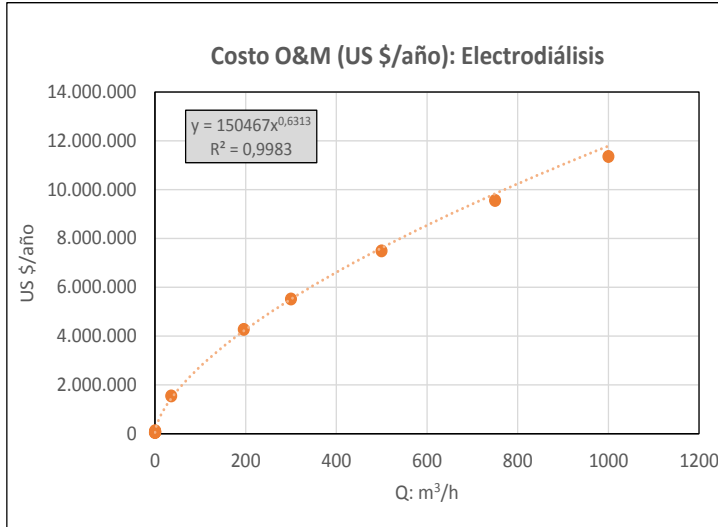


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

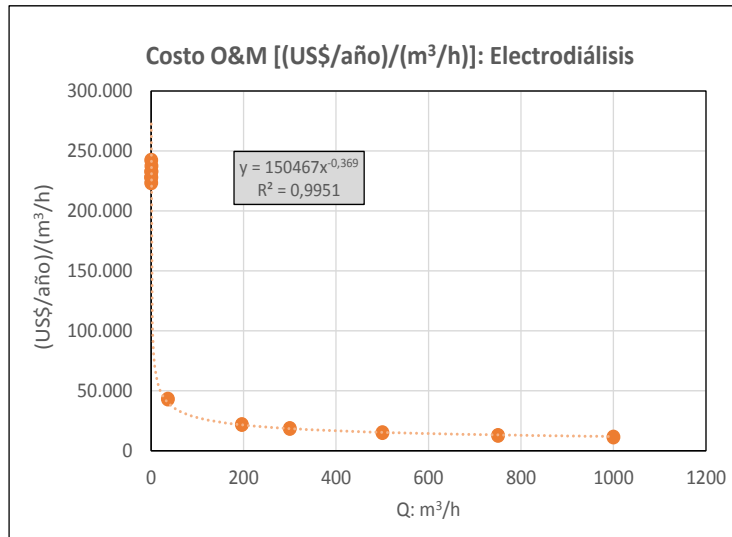


- Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. L. Medina, F. Vejar, D. Raucq. Desalado de los sueros lácteos por electrodiálisis. *Interciencia*, 21(4): pp. 224-227, 76-0010 ISSN 0378-1844.
2. Andía Cárdenas Yolanda, 2000. Tratamiento de agua: coagulación y floculación. SEDAPAL, Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.
3. Aplicación electrodiálisis en la viñas. Portal Premium Chile. http://www.portalpremiumchile.cl/catalogo-notas/vinos_y_gastronomia/nueva_tecnologia_para_las_vinas
4. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
5. Camargo Gloria, Giraldo Eugenio, Rodríguez Manuel, 2001. Acople de una unidad de Electrodiálisis a un birreactor anaerobio de micromembrana. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, centro de investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), Universidad de Los Andes 4976, Bogotá.
6. Electrodiálisis. Diccionario del agua. <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=755>
7. Electrodiálisis IHOBÉ. <http://www.ihobe.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=BF9DCDBE-D152-4BB2-97BB-8BFEAB8A28A1>
8. F. Medina I., 2007. Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis, Universidad de Los Andes.

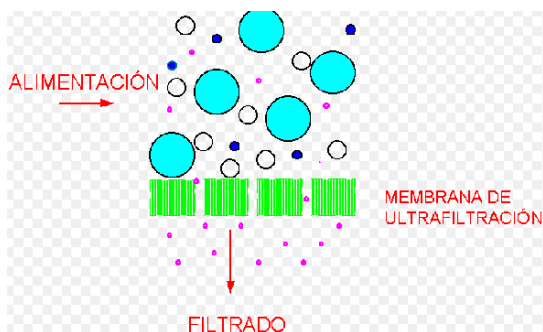
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS COSTOS

1. Zhang, Y., Ghyselbrecht, K., Vanherpe, R., Meesschaert, B., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., 2012. RO concentrate minimization by electro dialysis: Techno-economical analysis and environmental concerns. *Journal of Environmental Management* 107, 28-36.

TECNOLOGÍA DE MICROFILTRACIÓN, ULTRAFILTRACIÓN

- **Descripción de la tecnología:** Estas tecnología emplean series de unidades modulares en forma de tubos que contienen membranas filtrantes a través de las cuales fluye el efluente mediante la impulsión ejercida por bombas a una baja presión. Se utiliza como pre-tratamiento de la osmosis inversa y también como refinado de tratamientos primarios y biológicos. Cada planta de MF y UF se diseña de acuerdo a cada caso en particular, variando principalmente según los caudales y concentración de los elementos en el efluente a tratar.

La microfiltración es un proceso de membranas de baja presión mientras que la ultrafiltración es un proceso de baja-media presión. Las membranas utilizadas en microfiltración tienen un tamaño de poro que oscila entre 0,1 y 10 μm . Por otra parte, las membranas utilizadas en ultrafiltración se caracterizan por valores de tamaño de poro que oscila entre 2-100 nm. Con esta técnica se retiene macromoléculas y solutos de peso molecular superior a 1000. El permeado contendrá moléculas de bajo peso molecular y sales.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Color
Normas de emisión:	Sólidos Suspendidos Totales (SST).
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos Suspendidos Totales (SST), sólidos sedimentables, compuestos orgánicos halogenados (AOX), color.
Parámetros normados: no	Turbidez, pesticidas, agentes patógenos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado.
Pre-tratamiento:	Filtración previa.
Temperatura:	Rango de temperatura superior al punto de congelamiento del efluente a tratar y no superior a 45°C.
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Continuo.

- **Eficiencia de remoción**

	SST (%)	Sólidos sedimentables (%)	DQO (%)
Mínimo	85	n.d	n.d
Promedio	88	99	85
Máximo	92	n.d	n.d
	Color (%)	Turbidez	Agentes patógenos (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d
Promedio	55	92	90
Máximo	n.d	n.d	n.d

(n.d: no definido). Eficiencia de remoción no determinada: AOX, pesticidas.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** El caudal de paso de agua es igual a $Q = (K A / e) P$ Donde (A) es la superficie de filtración, (e) es el espesor de la membrana, (P) la presión diferencial aplicada y (K) es una característica de la membrana.
- **Caudal de efluente a generar:** en función de las condiciones anteriores.
- **Reactivos utilizados según caudal:** ácido clorhídrico y sosa caustica.
- **Consumo de energía:** 0,17 kWh/m³
- **Condiciones limitantes:**

Al igual que en el resto de tecnologías de membrana, durante los procesos de microfiltración y ultrafiltración tenemos dos condiciones limitantes principales:

- El soluto es retenido mientras el disolvente pasa a través de la membrana, esto hace que dependiendo de la movilidad del soluto tienda a acumularse en la superficie. Como consecuencia

hay un decrecimiento de flujo de permeado, se retienen moléculas grandes pero disminuye la retención de moléculas pequeñas.

- El denominado efecto “fouling”, que está relacionada con el ensuciamiento de las membranas. Para combatir este fenómeno se puede (1) realizar un pretratamiento de la corriente alimentación (2) realizar un pre-tratamiento de la interfase de la membrana (3) limpieza mediante retrolavado (sólo en MF, la dirección de la filtración es invertida para eliminar todos los elementos que obstruyen la membrana) o lavado químico.

- Para la microfiltración, la presión aplicada varía en el rango de 0,5 a 2 bares y el flujo de permeado varía entre 150 –1500 L/h/m². En ultrafiltración la presión aplicada varía en el rango de 1-10 bares y el flujo de permeado varía entre 50 –500 L/h/m².

• **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Si, los efluentes tratados mediante estas tecnologías pueden utilizarse en la industria de la bebida, en circuitos cerrados de agua de lavado de vehículos, para tratamiento de efluentes biológicamente tratados y reutilizados en efluentes mineros.

• **Subproductos generados**

Residuos	Los propios materiales de membrana.
Emisiones	No aplica

• **Vida media de la tecnología:** dos años referidos a la vida útil de las membranas. La vida útil de la planta en general puede ser de 20 años considerando mantenciones adecuadas.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas.	<p>- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn, Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Aguasin	http://www.aguasin.com
	Lenntech BV	http://www.lenntech.es/
Extranjero	Unitek Group (Argentina, Brasil, Perú, Venezuela)	http://www.unitek.com.ar/
	GAT Grupo de asistencia técnica	http://www.gat.com.ar/
	Bioazul (España)	www.bioazul.com

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Estas tecnologías se utilizan actualmente en Chile. Sin embargo, son procesos orientados a la obtención de agua de alta pureza y a proyectos a pequeña escala más que al tratamiento de aguas industriales.

CASOS DE APLICACIÓN

1.- Planta de Tratamiento de aguas servidas Luggage Point in Brisbane, Australia. Con una capacidad de tratamiento de 17.000 m³/año. Posee Lodos Activados seguido de unidades de membrana de MF.



Figura 1: Planta de Tratamiento de aguas servidas Luggage Point in Brisbane, Australia

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La microfiltración / ultrafiltración son tecnologías capaces de eliminar bacterias y virus, suelen utilizarse como pretratamiento para sistemas de nanofiltración, hiperfiltración u osmosis inversa.

En concreto la ultrafiltración se ha vuelto una técnica importante en el tratamiento de las aguas y de los efluentes industriales, pudiendo utilizarse directamente en la producción de agua potable gracias a su capacidad para retener las bacterias y los virus. De igual forma, estas técnicas se pueden utilizar en el tratamiento de efluentes para disminuir la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) antes de devolver el efluente al medio natural.

ESTIMACIÓN COSTOS

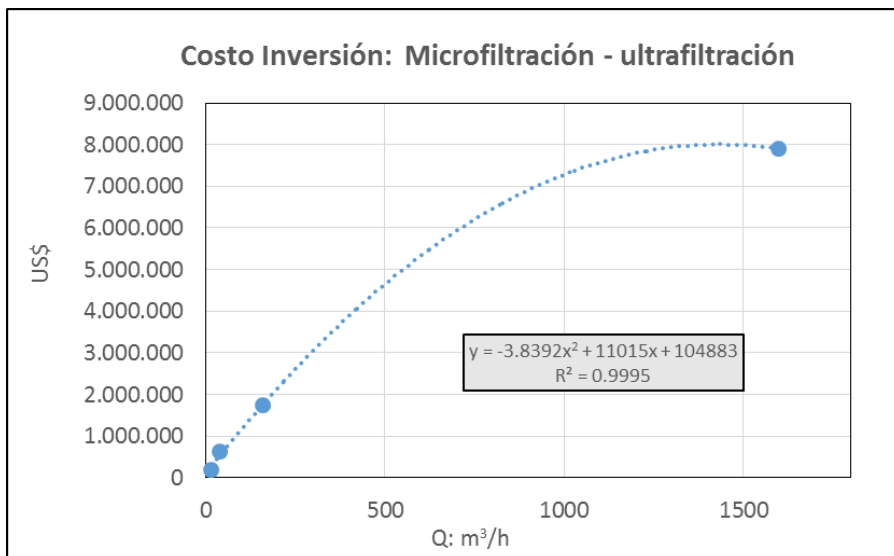
El costo mayoritario de estas tecnologías viene asociado a los equipos y a las labores de monitoreo y control, especialmente las vinculadas al correcto mantenimiento de las membranas.

MICROFILTRACIÓN / ULTRAFILTRACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
<i>Caudal 1</i>	15,2	162.187	18.020	180.208	45.483
<i>Caudal 2</i>	38	565.000	62.777	627.777	169.500
<i>Caudal 3</i>	160	1.575.276	175.030	1.750.306	437.576
<i>Caudal 4</i>	1600	7.111.246	790.138	7.901.384	1.975.346
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total.</i>		$y = -3,8392 x^2 + 11015 x + 104883$		<i>Rango de aplicación: 15,2 a 1.600 m³/h Costos de: 271.424 a 7.900.531 US\$</i>	
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento.</i>		$y = -0,9381 x^2 + 2714,7 x + 33135$		<i>Rango de aplicación: 15,2 a 1.600 m³/h Costos de: 74.182 a 1.974.351 US\$/año</i>	
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)			
Ácido clorhídrico (HCl)	n.d	7,5 \$ / L			

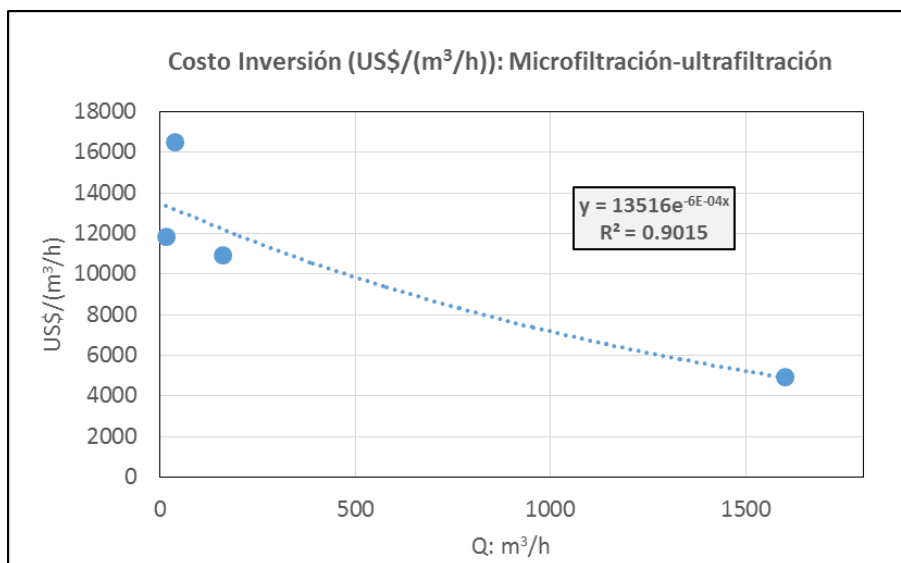
Sosa cáustica (NaOH)	n.d	3,5 \$ / Kg
Consumo energético planta		
0,17 kWh/m ³		
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
27	2,11 (0,8 m. alto)	
32	3,23 (2,3 m. alto)	
128,5	5,1 (2,5 m. alto)	
257	14,1 (3,1 m. alto)	
385	18,4 (3,2 m. alto)	
769	33,8 (3,4 m. alto)	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Una (1), generalmente estas unidades son automatizadas y no siempre se requiere un supervisor en la propia planta, sino que mediante cuadros de automatización habrá dispositivos de alerta en caso que el sistema presente alguna anomalía.	Operador (medio)	15 % costo de operación
Costos de monitoreo y control		
20 % del coste de inversión. La limpieza del sistema de UF y MF se logra desplazando el concentrado para posteriormente circular la solución de limpieza a través del sistema. Este proceso permite remover incrustaciones en la membrana y en la tubería asociada. Los compuestos a eliminar suelen ser orgánicos (aceite y grasa para lubricar, aceite libre, grasas, ceras, bacteria y formadores de escamas) e inorgánicos (metales).		
Vida útil de los equipos		
20 años, la duración estimada de las membranas varía desde uno a dos años para fibras huecas y espirales, hasta más de cinco años para las membranas tubulares de una pulgada que operan los 365 días del año. La durabilidad de éstas será función del tiempo de uso y las concentraciones del efluente de entrada.		

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

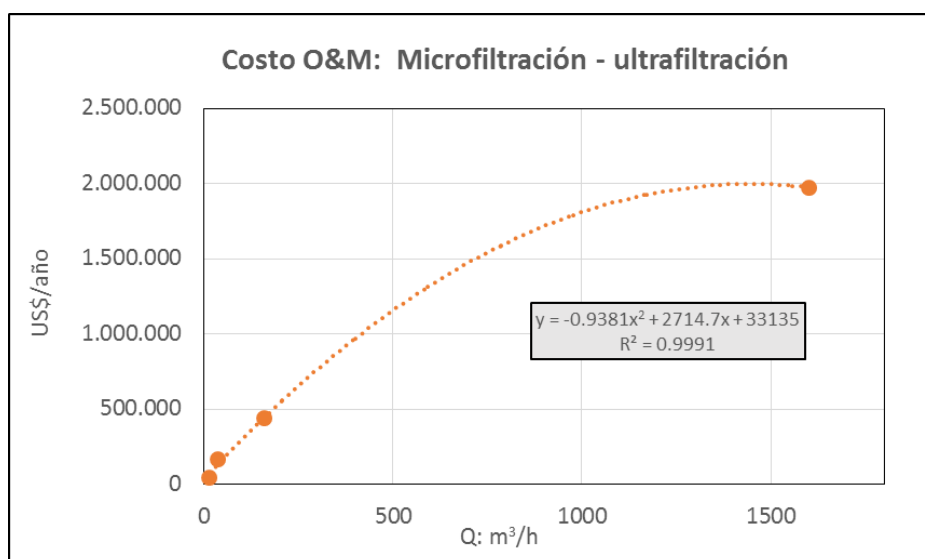


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

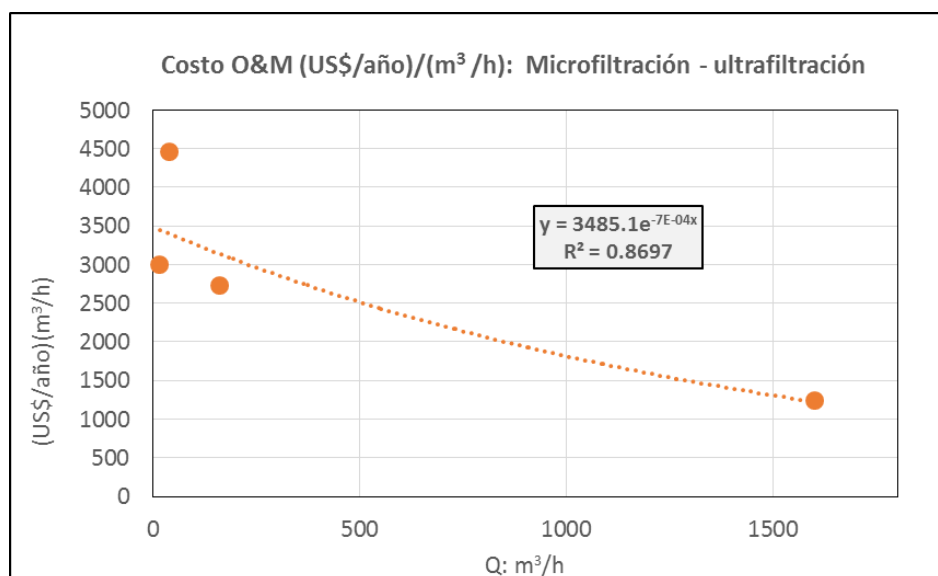


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brady Francis J. Tratamiento de Aguas Residuales por ultrafiltración en operación de lote modificado.
2. Brady Francis J., 2003. Tratamiento de aguas residuales por ultrafiltración en operación de lote modificado. Agua Latinoamérica.

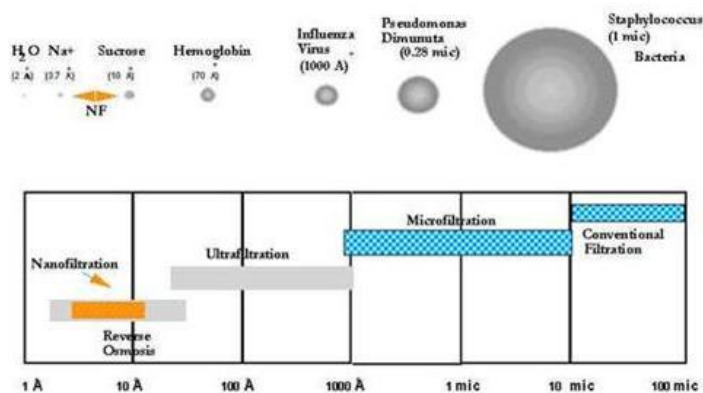
3. Chacón Villalobos Alejandro, 2006. Tecnologías de membrana en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana* 17(2), ISSN: 1021-7444, pp. 243-264.
4. Del Villar García Alberto, 2010. Guía tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Grupo E1 de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá. www.consolider-tragua.com
5. Mourato D. Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. Zenon Environmental Inc. Burlington, Ontario, Canadá.
6. Planta de Tratamiento de Agua Potable, Mayniland.
7. Restrepo Gallego Mauricio, 2006. Cleaner Production in Food Industry. Producción + limpia.
8. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
9. Romero González Jorge Francisco, 2010. Control Avanzado en Procesos Industriales de Microfiltración y Ultrafiltración tangencial, Universidad Politécnica de Valencia.
10. Saavedra Aldo, Romero Julio. Aspectos generales sobre procesos y tecnologías de membrana. Dep. Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile.
11. Unidades de Microfiltración. OTEC

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Catálogo Veolia http://www.veoliawaterst.com/uflex/en/technical_details.htm
2. Catálogos Aquamarket www.aquamarket.com
3. Catálogos Fluytec www.fluytec.com
4. Del Villar García Alberto, 2010. Guía tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Grupo E1 de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá. www.consolider-tragua.com
5. Guizard Christian, 1999. Técnicas de membrana de filtración de líquidos: Microfiltración – Ultrafiltración – Nanofiltración – Osmosis inversa., Universidad de Los Andes, Venezuela.
6. Microfiltración. Instrumentación científico técnica. www.ictsl.net
7. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

TECNOLOGÍA DE NANOFILTRACIÓN

- Descripción de la tecnología:** La nanofiltración es una técnica de separación a través de membranas intermedias entre la ultrafiltración y la osmosis inversa. Inicialmente fue considerada como osmosis inversa pero hoy en día es considerada como una técnica diferente debido a que los mecanismos de transporte a través de la membrana son diferentes. La diferencia principal es el grado de retención que logran estas membranas, operando en rangos más altos de corte de peso molecular (0,001 – 0,01 mm). La presión aplicada varía en el rango de 5-20 bares y el flujo de permeado varía entre 50 –200 L/h/m².



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Arsénico.
Normas de emisión:	Hierro, arsénico.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Nitrato, hierro, arsénico.
Parámetros no normados:	COT, Herbicidas, precursores THM's.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	No determinado.
Pre-tratamiento:	Filtración previa
Temperatura:	Rango de temperatura superior al punto de congelamiento del efluente a tratar y no superior a 45°C
Selectividad:	No es selectivo
Tipo de operación:	Continuo

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

- **Eficiencia de remoción**

	Nitratos (%)	Hierro (%)	COT (%)
Mínimo	90	90	90
Promedio	95	95	95
Máximo	100	100	100
	Precursores de THM's (%)	Arsénico (%)	Herbicidas (%)
Mínimo	90	n.d	90
Promedio	95	90	95
Máximo	100	n.d	100

(n.d: no determinado).

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** El caudal de paso de agua es igual a $Q = (K A / e) P$, donde (A) es la superficie de filtración, (e) es el espesor de la membrana, (P) la presión diferencial aplicada y (K) es una característica de la membrana.
- **Caudal de efluente a generar:** en función de las condiciones anteriores.
- **Reactivos utilizados según caudal:** Ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH).
- **Consumo de energía:** 0,7 kWh/m³.
- **Condiciones limitantes:** Al igual que en el resto de tecnologías de membrana, durante el proceso de nanofiltración tenemos dos condiciones limitantes principales:
 - El soluto es retenido mientras el disolvente pasa a través de la membrana, esto hace que dependiendo de la movilidad del soluto tienda a acumularse en la superficie. Como consecuencias hay un decrecimiento de flujo de permeado, se retienen moléculas grandes pero disminuye la retención de moléculas pequeñas.
 - El denominado efecto "fouling", que está relacionada con el ensuciamiento de las membranas. Para combatir este fenómeno se puede (1) realizar un pretratamiento de la corriente alimentación (2) realizar un pre-tratamiento de la interfase de la membrana (3) lavado químico.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Si, los efluentes tratados mediante estas tecnologías pueden utilizarse en la industria de la bebida, en circuitos cerrados de agua de lavado de vehículos, para tratamiento de efluentes biológicamente tratados y reutilizados en efluentes mineros.

- **Subproductos generados**

Residuos	Los propios materiales de membrana.
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** 20 años, 5 años referidos a la vida útil de las membranas.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria elaboración de productos lácteos.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de bebidas.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de productos químicos (Farmacéutica).	pH, DQO, TOC, S²⁻, PO₄³⁻, N_T, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P_T, Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC
Minería.	Varían en función del metal extraído. <ul style="list-style-type: none"> • Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). • Explotación Cu: pH, conductividad, S²⁻, metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). • Explotación Au y Ag: CN⁻, As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO₄²⁻.
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Cotaco	http://www.cotaco.cl/
	Inquinat	http://www.inquinat.cl/
Extranjero	Unitek Group (Argentina, Brasil, Perú, Venezuela)	http://www.unitek.com.ar/
	Aqualama (México)	http://www.aqualama.com.mx/
	Aquanova (Perú)	http://www.aquanovaperu.com

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología se utiliza actualmente en Chile como tratamiento final del efluente para reutilización en procesos industriales o laboratorios que requieran este grado de pureza en el agua.

CASOS DE APLICACIÓN

Planta de nanofiltración Collahuasi (figura 1). Con una capacidad de tratamiento de 235 m³/h. <http://www.mutual.cl/noticias/ngenerales.asp?id=3424>



Figura 1: Planta de nanofiltración minera Collahuasi

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

En el caso de que el efluente sea utilizado para posteriores usos industriales, la tecnología de nanofiltración siempre lleva acoplada tratamientos primarios y biológicos, ya que es una técnica sensible y las membranas pueden ser dañadas fácilmente. Como se comentó anteriormente, esta tecnología no se utiliza para el tratamiento de aguas residuales (en todo caso como tratamiento terciario o final, como en el ejemplo de la Minera Collahuasi), sino para la obtención de agua ultrapura con aplicación en laboratorios o complejos hospitalarios.

ESTIMACIÓN COSTOS

El costo mayoritario de esta tecnología viene ligado a los equipos y a las labores de monitoreo y control, especialmente las asociadas al correcto mantenimiento de las membranas. En cuanto al tratamiento de aguas residuales, se debe tener en cuenta que la nanofiltración no es una técnica muy exitosa para remover la turbidez, debido al ensuciamiento de las membranas. Se debe incluir un pretratamiento o por el contrario el proceso no resultara rentable.

NANOFILTRACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$)(2)	Costos inversión total (US \$)(1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
Caudal 1	10	204.000	36.000	240.000	46.800
Caudal 2	100	1.535.100	270.900	1.806.000	280.000
Caudal 3	150	2.040.000	360.000	2.400.000	358.200
Caudal 4	500	4.201.045	741.361	4.942.406	741.361
Caudal 5	1000	6.367.594	1.123.693	7.491.287	1.123.693

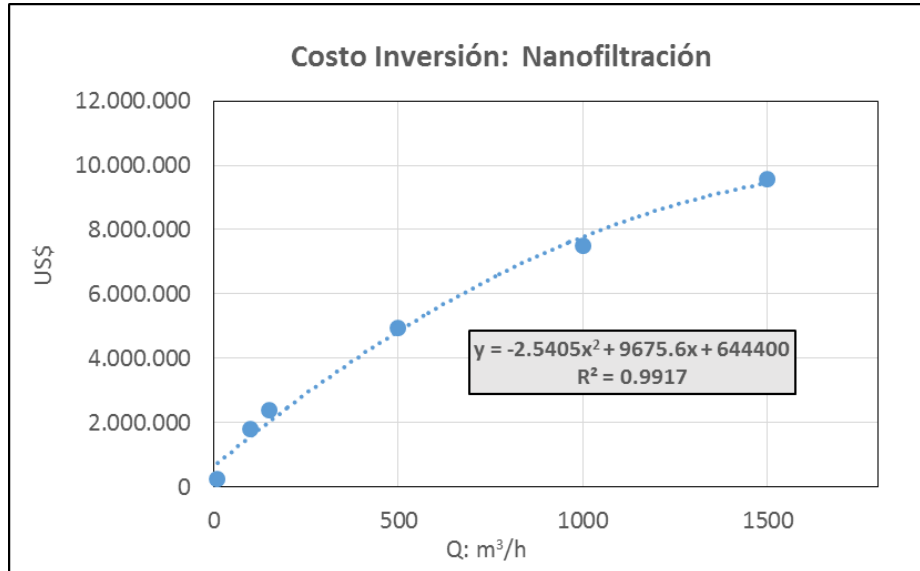
Caudal 6	1500	8.121.386	1.433.185	9.554.572	1.433.185
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
Costos de inversión total	$y = -2,5405 x^2 + 9675,6 x + 644.400$		Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 740.902 a 9.441.675 US\$		
Costos anuales de operación y mantenimiento	$y = 11.001 x^{0,6761}$		Rango de aplicación: 10 a 1.500 m ³ /h Costos de: 52.183 a 1.544.498 US\$/año		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)			
Ácido clorhídrico (HCl)	0,35	7,5 \$ / L			
Hidróxido de sodio (Na OH)	0,183	3,5 \$ / Kg			
Consumo energético planta					
0,7 kWh/m ³					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)		Área (m ²)			
0,25		0,007 (1,27 m. altura)			
Personal calificado necesario para la planta					
Número de personas		Especialización del personal	Costo (US \$/año)		
Una (1), generalmente estas unidades están automatizadas y no siempre requieren un supervisor en la propia planta. Los cuadros de automatización disponen de dispositivos de alerta para detectar cualquier anomalía que pueda surgir, con posterior intervención del personal.		Operador (medio)	15 % costo de operación		
Monitoreo y control					
Se debe realizar un control del flujo del sistema y de la temperatura (siempre inferior a 45°C). Para asegurar el flujo continuo del sistema se debe prestar especial atención al deterioro de la membrana por suciedad, evitándolo o minimizándolo mediante pretratamiento de la interfase de membrana o lavado químico.					
Vida útil de los equipos					
20 años, 5 años referidos a la vida útil de las membranas.					

Costos calculados a partir del caudal 3 mediante factor de capacidad y exponente de Willians ($n = 0,6$).

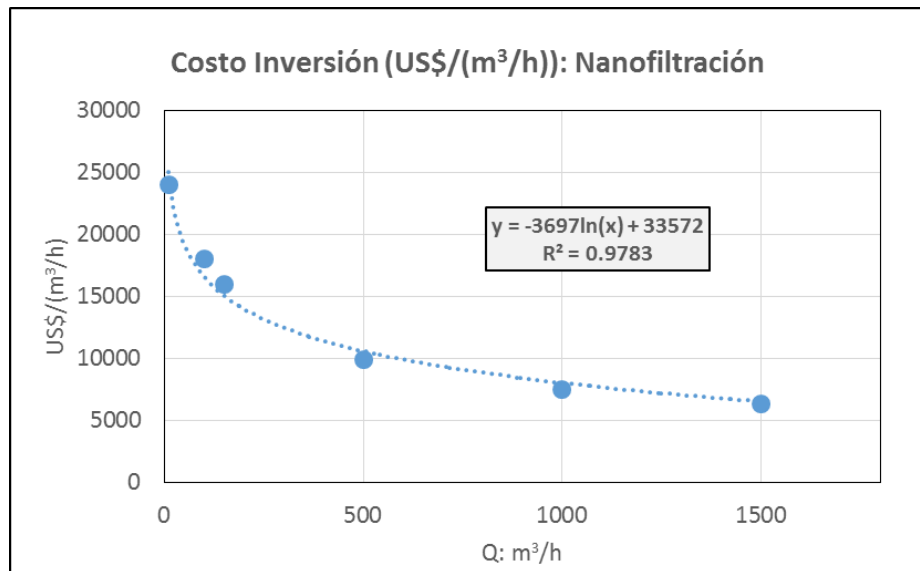
Los costos de equipos y obra civil han sido calculados según datos bibliográficos y de proveedores, representando el 85 y 15% respectivamente de los costos totales de inversión.

- Representación de las funciones de costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

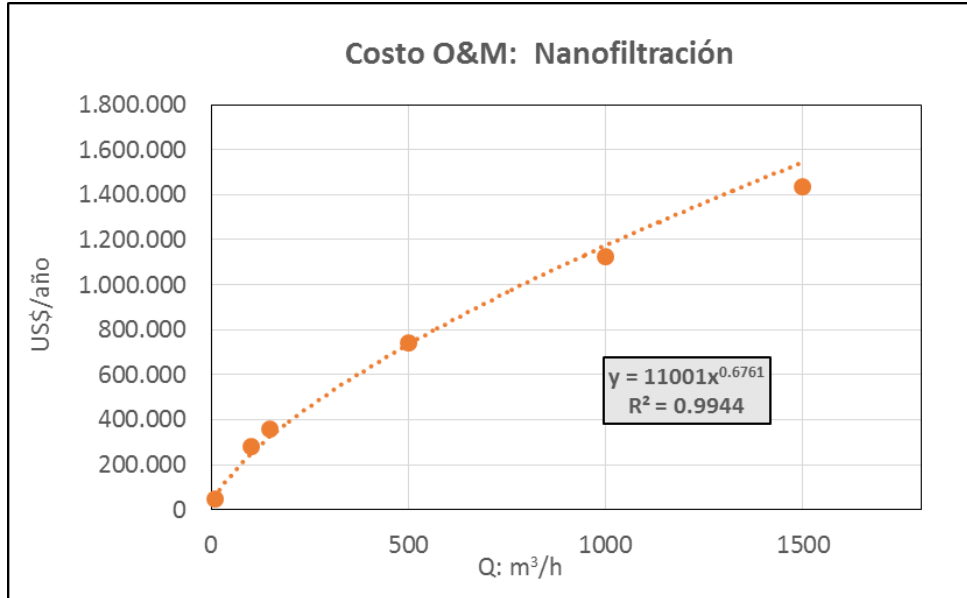


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

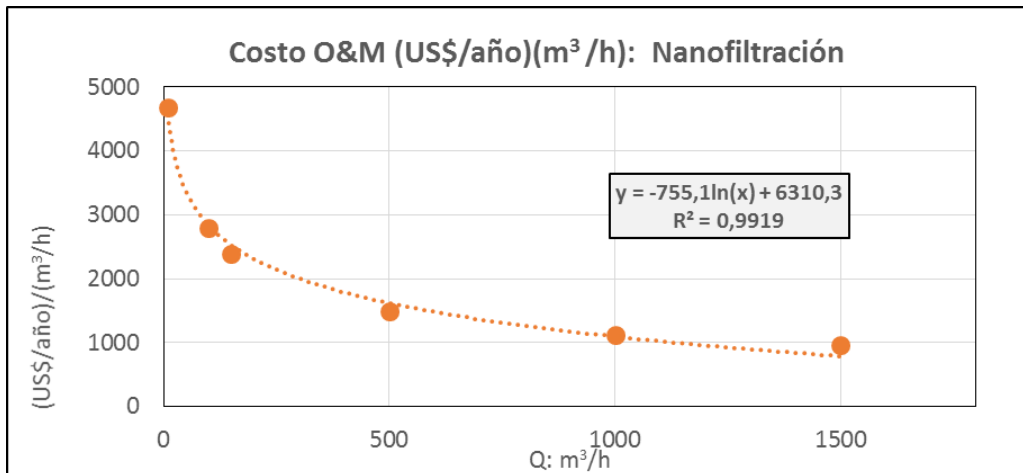


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andía Cárdenas Yolanda, 2000. Tratamiento de agua: coagulación y floculación. SEDAPAL, Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.
2. Baker R.W., 2004. Membrane Technology and Applications, Wiley, segunda edición, p.237.
3. Catálogo interempresas <http://www.interempresas.net>
4. D. Mourato, Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. Zenon Environmental Inc. Burlington, Ontario, Canadá.
5. Del Villar García Alberto, 2010. Guía tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Grupo E1 de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá. www.consolider-tragua.com
6. Gómez Rojas Areli, Linares Ocampo José de Jesús, Calderón Mólgora César G., Nov. 2012. Remoción de metales pesados en agua mediante membranas destinadas al ablandamiento del agua. XXII Congreso Nacional de hidráulica Acapulco, Guerrero, México.
7. Guerrero Gallego L., Sanz Ataz J. Nanofiltración aplicada a la eliminación de compuestos orgánicos de aguas superficiales con destino a consumo humano. Vivendi Water Systems.
8. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

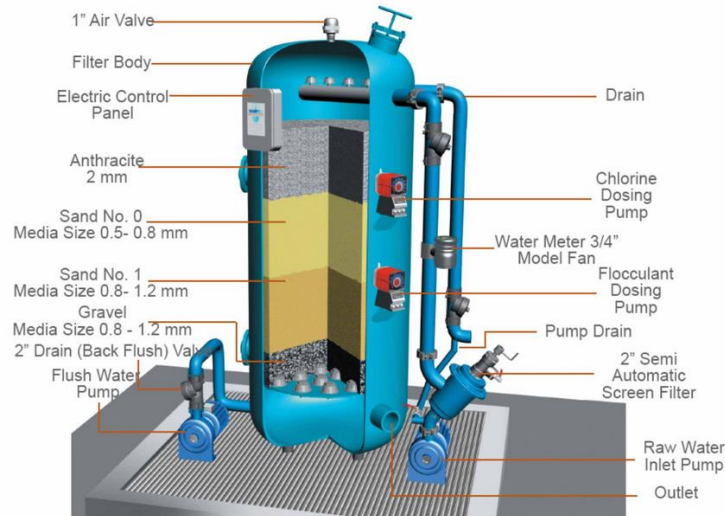
REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Guerrero Gallego Leopoldo, Sanz Ataz Joan. Nanofiltración aplicada a la eliminación de compuestos orgánicos de aguas superficiales con destino a consumo humano, Vivendi Water Systems. www.veoliawater.com
2. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

TECNOLOGÍA DE ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVADO

- **Descripción de la tecnología:** Esta tecnología es un tratamiento terciario y tiene como propósito obtener una calidad de efluente superior a la obtenida en los tratamientos primarios y secundarios. Su aplicación se realiza en lechos empacados, tipo columnas, cargadas con gránulos de material adsorbente (carbón activo), bombeando a través del filtro empacado el efluente a tratar. Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades y aplicaciones diferentes:
 - Carbón activado granular (GAC). Esta tecnología se utiliza para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Estos elementos, a pesar de su baja concentración, proporcionan mal olor, color o sabor al agua.
 - Carbón activo en polvo (CAP). Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. Se suele añadir al agua a tratar y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, las partículas sedimentan y se procede a su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo.

El carbón activado granular (CAG) y el carbón activado en polvo (CAP) se fabrican mediante el mismo proceso, al final del mismo el CAP se pulveriza y el GAC no. El área de un carbón activado está a nivel molecular y prácticamente no aumenta con la pulverización del mismo, lo que sí aumenta en el CAP es la cinética con la que trabaja. Esto se debe a que disminuye la longitud de sus poros, los cuales se llenan por un fenómeno de capilaridad cuando el carbón se pone en operación. El área de superficie del carbón activado varía de 500 a 2.500 m²/g, dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. El grado típico de carbón para tratamiento de agua tiene un área de superficie de 900 a 1,100 m²/g.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Color.
Normas de emisión:	DBO, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Solidos Sedimentables, aceites y grasas, trihalometanos, poder espumógeno.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO, Sólidos Suspendidos Totales (SST), color, aceites y grasas.
Parámetros no normados:	Sabor, olor, cloro libre, bromo, BTEX, pesticidas, PFOS (sulfonatos de perfluorooctano), PFOA (ácido perfluorooctanoico), BPA (bisfenol A).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	En función de la longitud de la columna o del volumen de carbón activo diluido.
Pre-tratamiento:	Filtración.
Temperatura:	Temperatura ambiente, siempre superior al punto de congelamiento del efluente a tratar.
Selectividad:	No es selectivo.
Tipo de operación:	Esta tecnología se puede aplicar en continuo y discontinuo. En discontinuo, se usa más frecuentemente a escala de laboratorio; el carbón activo se añade donde se encuentra el agua tratada y se agita el tiempo deseado pasado el cuál se deja decantar el carbón activo. El proceso en continuo es el más utilizado en aplicaciones a mayor escala, el agua a tratar pasa continuamente por una columna de adsorción donde se encuentra el carbón activo.

- **Eficiencia de remoción (%)**

	Sólidos suspendidos (%)	DBO5 (%)	Sólidos sedimentables (%)
Mínimo	95	95	95
Promedio	97	97	97
Máximo	99	99	99

Eficiencia remoción no determinada: color, aceites y grasas, trihalometanos, sabor, olor agente espumógeno, cloro libre, bromo, BTEX, pesticidas, PFOS (sulfonatos de perfluorooctano), PFOA (ácido perfluorooctanoico), BPA (bisfenol A).

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** en función del diseño de la planta.
- **Caudal de efluente a generar:** aproximadamente 95 % del volumen del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** no requiere reactivos.
- **Consumo de energía:** consumo energético según los equipos de bombeo del efluente (kWh/m³).
- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes;
 - Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
 - La concentración del compuesto que desea ser eliminado. A mayor concentración en el efluente más carbón se necesitará.
 - Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
 - El pH del agua. Los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pH bajo.
 - Cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción.
 - Cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Si, para riego agrícola y riego de áreas verdes.

- **Subproductos generados**

Residuos	El propio material adsorbente
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** 15 – 20 años teniendo en cuenta los recambios del carbón activado.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Planta de tratamiento de Riles y aguas servidas.	- Tratamiento biológico de aguas residuales: Cloruros, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfatos, SST, S SED, pH, DBO₅, DQO, N_T, P_T, AOX, B, Cd, NH₃, Pb, Hg, Ni, Ba, Se, Mo, As, Mn,

“Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas”.

	<p>Sn, Fe, Zn Cu, Al, Cr, fenoles y TOC.</p> <p>- Tratamiento de eliminación de aceite e hidrocarburos: Aceites y grasas, DBO₅, DQO, Hidrocarburos totales, metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).</p> <p>- Tratamiento para aguas de riego: DBO₅, pH, SST, N_t, N-NH₄⁺, NO₃⁻, P, K, B, Cl, Na, metales.</p>
--	---

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	Bioaguachile	http://www.bioaguachile.cl/
	Despurifil	http://www.aguadespurifil.com/
Extranjero	Chemvironcarbon (multinacional)	http://www.chemvironcarbon.com
	Química Barcelona (España)	http://www.quimicabarcelona.cl/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Actualmente esta tecnología es utilizada en Chile. La compañía chilena Sociedad de Ingeniería Bio Agua TR Limitada, entre otros muchos tratamientos, utiliza carbón activado, el cual funciona como filtro de olores.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Un ejemplo es la planta potabilizadora de Annet-Sur-Marne (figura 1). Su capacidad de producción alcanza los 130.000 m³/día. Tiene una unidad de tratamiento usando filtros de carbón activado. La arena y el carbón utilizados en el proceso de tratamiento del agua se reciclan para su posterior reutilización.<http://www.tratamiento-agua-annet.veoliaenvironnement.com/planta/carbon-activado.aspx>

Por otro lado, el complejo Vizcachas en Santiago de Chile, entre otras tecnologías, utiliza filtración con carbón activo como tecnología de depuración. <http://www.agbar.es/en/potabilizacion-agua.html>



Figura 1: Planta potabilizadora Annet - Sur - Marne



Figura 2: Complejo Vizcachas en Santiago de Chile

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología de adsorción mediante carbón activo se aplica muy frecuentemente con otros tratamientos primarios y secundarios. Por ejemplo, uno de los acoples característicos para la depuración de agua de consumo humano suele ser filtros de carbón activo con osmosis inversa.

Por otra parte, son habituales las plantas de tratamiento donde se acoplan los siguientes procesos: (1) pretratamientos (decantación, filtración...) (2) procesos de cloración u ozonización (3) coagulación – floculación (4) filtros de carbón activo para el tratamiento de efluentes industriales, con el posterior tratamiento de lodos.

Así mismo, el carbón activado granular en combinación con pretratamientos biológicos es una de las tecnologías más utilizadas para el tratamiento de lixiviados. El carbón activo también es utilizado para el tratamiento del biogás de vertedero, antes de usarlo como combustible para la generación de electricidad.

ESTIMACIÓN COSTOS

De forma general, en cuanto a los costos del carbón activo, se debe tener en cuenta que mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón granular, mayor es la caída de presión y, por lo tanto, aumenta el costo para lograr un flujo adecuado a través del soporte. De lo anterior se concluye que en todos los casos debe usarse el menor tamaño de carbón, siempre y cuando sea mayor el beneficio de requerir una cama/soporte pequeño que el costo de hacer circular el fluido a través del sistema.

CARBÓN ACTIVO GRANULAR (GAC)					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$/año)
<i>Caudal 1</i>	10,4	75.995	13.411	89.406	22.351
<i>Caudal 2</i>	20,8	115.187	20.327	135.514	33.878
<i>Caudal 3</i>	41,6	174.591	30.810	205.401	51.350
<i>Caudal 4</i>	62,5	222.891	39.334	262.225	65.493
<i>Caudal 5</i>	83,3	264.821	46.733	311.554	77.889
<i>Caudal 6</i>	150	376.895	66.511	443.406	110.852
<i>Caudal 7</i>	500	776.154	136.968	913.122	228.281
<i>Caudal 8</i>	1500	1.500.446	264.785	1.765.230	441.308
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total.</i>	$y = 21935x^{0,6}$		<i>Rango de aplicación: 10,4 a 1.500 m³/h Costos de: 89.404 a 1.765.194 US\$</i>		
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento.</i>	$y = 5485,3 x^{0,5998}$		<i>Rango de aplicación: 10,4 a 1.500 m³/h Costos de: 22.347 a 440.778 US\$/año</i>		
DESGLOSE DE VARIABLES					
Reactivos					
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)			
El propio carbón activado (GAC)	n.d.	1173-1600 \$/m ³ , dependiendo si el carbón activado es fabricado a partir de carbón mineral o cáscara de coco.			
Consumo energético planta					
Consumo energético según los equipos de bombeo del efluente (kWh/m ³).					
Área ocupada por la instalación					
Caudal (m ³ /h)			Área (m ²)		
8			0,045 (0,39 altura)		
15			0,045 (0,56 altura)		
25			0,045 (0,82 altura)		
35			0,045 (1,065 altura)		
56			0,094 (1,185 altura)		
72			0,094 (1,410 altura)		
86			0,094 (1,610 altura)		
105			0,098 (1,38 altura)		
145			0,0795 (1,63 altura)		

200	0,108 (1,64 altura)
255	0,12 (1,71 altura)
350	0,13 (1,74 altura)
420	0,18 (1,75 altura)
620	0,21 (1,79 altura)
750	0,22 (1,93 altura)
940	0,245 (1,95 altura)
1288	0,72 (2,5 altura)
2721	1,34 (2,83 altura)
5151	2,31 (2,73 altura)
7039	2,41 (2,95 altura)
9271	2,81 (3,26 altura)

Personal calificado necesario para la planta

Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
En función del tamaño de la planta. Se requiere la revisión de bombas, motores y sistema eléctrico en general.	Supervisor (Alta) Operarios (Media)	Supervisor (29.800) Operario (17.800)

Control y monitoreo

Se debe asegurar el cambio de soporte con una frecuencia adecuada para asegurar procesos de adsorción óptimos.

Vida útil de los equipos

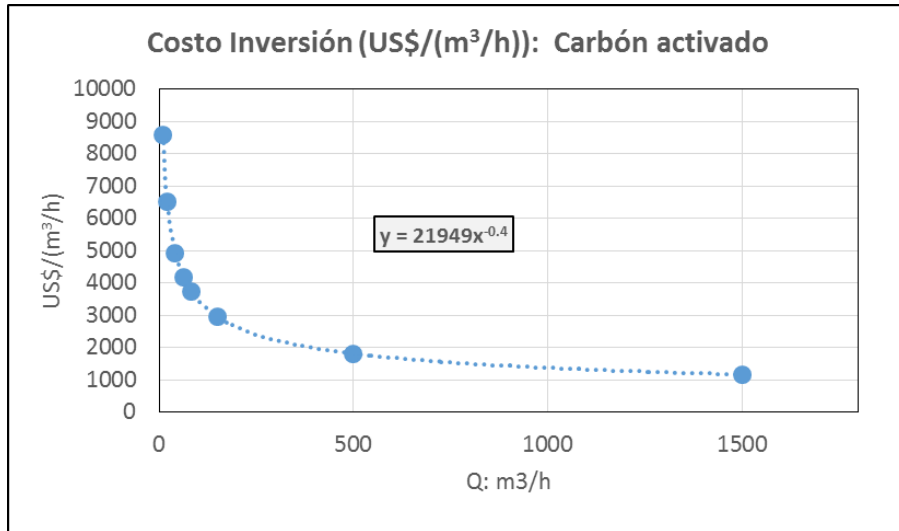
15 – 20 años teniendo en cuenta los recambios del carbón activado. Según el efluente tratado y la carga de contaminante, los cartuchos de carbón activado tendrán mayor o menor frecuencia de recambio. De forma general, se cambian 3-4 veces al año. Para tratamientos de poco volumen o experiencias piloto, también es posible calentar el carbón activo y bombear posteriormente aire limpio a través del soporte.

Costos calculados a partir del caudal 1 mediante factor de capacidad y exponente de Willians ($n = 0,6$). Los costos de operación y mantenimiento equivalen a un 25% de los costos de inversión.

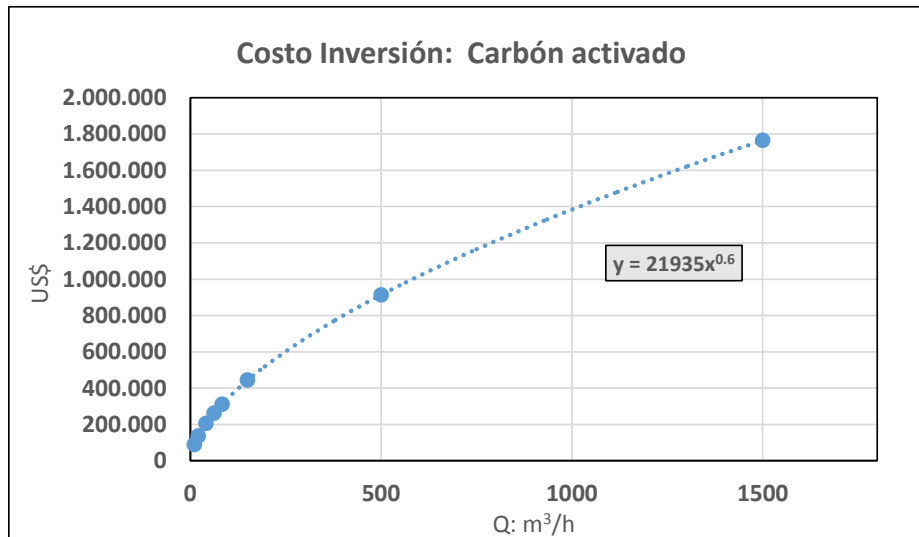
Los costos de equipos y obra civil se han calculado según datos bibliográficos y de proveedores, siendo equivalentes al 85 y 15% respectivamente de los costos totales de inversión.

- **Representación de las funciones de costos de inversión:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

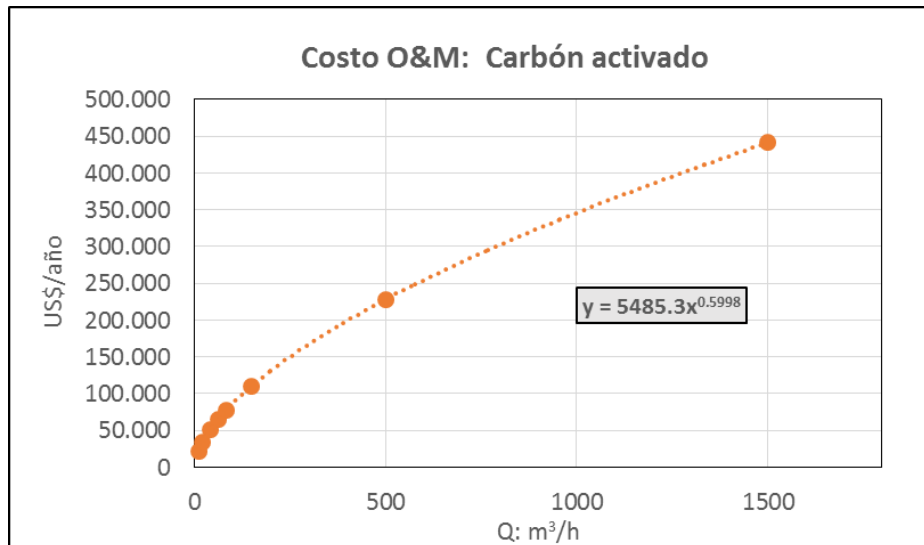


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

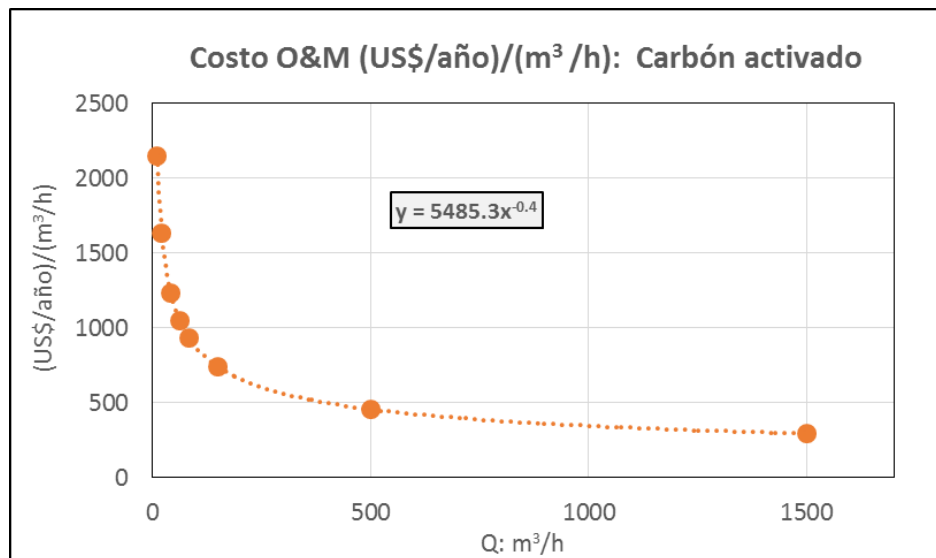


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agbar: Proyecto de aplicación <http://www.agbar.com/es/proyectos-ciclo.html>
2. Filtros de carbón activado a nivel residencial, empresa AQUOR Soluciones Integrales para el agua.
<http://www.aquatica.com.mx/carbonactivado/>
http://www.novem.com.mx/carbon_activado.pdf

3. Guía para el Ciudadano sobre Tratamiento con Carbón Activado, EPA, USA.
http://www.clu-in.org/download/citizens/es_cleanup_meth.pdf
4. Opciones de tratamiento de aguas residuales mediante carbón activo. GEDAR, Gestión de aguas y residuos. www.gedar.com
5. Remoción de hierro y manganeso en agua subterránea para abastecimiento público. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua.
6. Sarmiento Carmen, Sánchez Jorge, García César, Rincón Yolanda, Benítez Alismara, Ramírez Jorge. Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. Ciclo Básico de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química y División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Catálogos Kaeser <http://pdf.directindustry.com/pdf/kaeser/activated-carbon-adsorber-act-series/4742-140365.html#search-activated%20carbon>
2. Catálogos Veolia <http://pdf.directindustry.com/pdf/boge/activated-carbon-adsorber/14276-391431.html#search-activated%20carbon>
3. Chemviron Carbon: Waste Water Treatment with Activated carbon.
<http://www.chemvironcarbon.com/en/applications/effluent-water-treatment/wastewater>
4. El carbón activado en el tratamiento de aguas residuales, 2007. Carbotecnia S.A., Boletín técnico AR-001 <http://www.carbotecnia.com.mx/PDF/boletines/AR-001.pdf>
5. FACTS Subproductos de la desinfección en el agua potable.
http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/dbpspdf_sp.pdf
6. http://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/101.asp
7. Jwala Raj Sharma, 2010. Development of a preliminary cost estimation method for water treatment plants. University of Texas at Arlington.
8. Research and consulting Inc., CH2M Hill Engineering Ltd, 1999. MISA, Water Pollution Abatement Technology and cost study. Ontario Ministry of the Environment, Socio-Economic Section Policy and Planning Branch, ISBN 0-7729-8463-8.

TECNOLOGÍA DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (POAs)

- Descripción de la tecnología:** Entre las nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales industriales se encuentran los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs), los cuales son ampliamente reconocidos como tratamientos de alta eficiencia en aguas residuales recalcitrantes. Los Procesos de Oxidación Avanzada involucran la generación “in situ” de radicales hidroxilos (OH), fuerte oxidante capaz de degradar y remover los contaminantes presentes en diversos efluentes. Entre los oxidantes más comunes se encuentran las combinaciones de ozono (O₃), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), radiación ultravioleta (UV) y fotocatalisis.

Las tecnologías de oxidación se clasifican atendiendo a su fase de reacción (homogénea y heterogénea) o al método usado (químico, electroquímico, fotoquímico, sonoquímico o termoquímico) para generar los radicales hidroxilo según la necesidad de un aporte externo de energía. A continuación se muestra la clasificación de los procesos de oxidación avanzados según su fase de reacción.

PROCESOS HOMOGÉNEOS	
Sin aporte externo de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Ozonización en medio alcalino (O₃/OH⁻) • Ozonización con peróxido de hidrógeno (O₃/H₂O₂) y (O₃/H₂O₂/OH⁻) • Peróxido de hidrógeno y catalizador (H₂O₂/Fe²⁺)
Con aporte externo de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Energía procedente de radiación ultravioleta (UV) <ul style="list-style-type: none"> - Ozonización y radiación ultravioleta (O₃/UV) - Peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta (H₂O₂/UV) - Ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta (O₃/H₂O₂/UV) - Foto-Fenton (Fe²⁺/H₂O₂/UV)
	<ul style="list-style-type: none"> • Energía procedente de ultrasonidos (US) <ul style="list-style-type: none"> - Ozonización y ultrasonidos (O₃/US) - Peróxido de hidrógeno y ultrasonidos (H₂O₂/US)
	<ul style="list-style-type: none"> • Electroquímica <ul style="list-style-type: none"> - Oxidación electroquímica - Oxidación anódica - Electro-Fenton

PROCESOS HETEROGÉNEOS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Ozonización catalítica (O₃/Cat.) • Ozonización fotocatalítica (O₃/TiO₂/UV) • Fotocatálisis heterogénea (H₂O₂/TiO₂/UV)

En los últimos años, la investigación de POAs combinados con tecnologías biológicas para el tratamiento de determinadas aguas residuales industriales difíciles de tratar por procesos convencionales fisicoquímicos/biológicos ha aumentado considerablemente. El interés por este tema se ha incrementado debido a la posibilidad real de reutilizar las aguas residuales industriales como fuente de agua potable en condiciones sanitarias adecuadas. La integración de los POAs con los tratamientos biológicos podría representar una solución viable para el caso de contaminantes tóxicos o recalcitrantes.

En este contexto, se puede deducir que los POAs operan tanto a nivel individual como en sinergia con otras tecnologías, por lo que generalmente se describen como tecnologías híbridas.

PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Arsénico, cianuro, color.
Normas de emisión:	DBO, sólidos suspendidos totales, arsénico, sulfatos, cianuro, índice de fenol.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	DBO, sólidos suspendidos totales, arsénico, sulfatos, cianuro, color, AOX, índice de fenol, amonio.
Parámetros no normados:	Precusores de trihalometanos (THM), tartrazina, DQO, COT, tensoactivos, nitrógeno, fenol, tricloroetano.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	2-10 minutos
Pre-tratamiento:	No requiere
Temperatura:	5-40 °C
Selectividad:	Baja
Tipo de operación:	Continua

- **Eficiencia de remoción**

	Índice de fenol (%)	Precusores THM (%)	AOX (%)	Color (%)
Mínimo	90	90	90	90
Promedio	95	95	95	95
Máximo	100	100	100	100
	Tartrazina (%)	Fenol (%)	As (%)	Cianuro (%)
Mínimo	100	95	95	95
Promedio	100	98	98	98
Máximo	100	100	100	100
	Sulfatos (%)	SST (%)	DBO (%)	COT (%)
Mínimo	95	95	95	95
Promedio	98	98	98	98
Máximo	100	100	100	100

Eficiencia de remoción no determinada: amonio, tartrazina, DQO, tensoactivos, nitrógeno, tricloroetano.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** 1 - 5.000 m³/día
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente un 75% del volumen de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** estos procesos utilizan reactivos costosos tales como el agua oxigenada o el ozono, por lo que su utilización debe restringirse a situaciones en las que otros procesos más baratos, como los biológicos, no sean posibles. A mayor caudal, mayor volumen de reactivo se requiere, por lo que estos procesos adquieren su máximo potencial cuando se consiguen integrar con otros tratamientos, como la adsorción o los tratamientos biológicos, a fin de conseguir la máxima economía de reactivo oxidante.
- **Consumo de energía:** La mayoría de procesos de oxidación avanzada llevan implícitos un aporte de energía externo. En aquellos procesos que llevan asociado una fuente de radiación UV, se podría pensar en alternativas de desarrollo sostenible como la energía solar.
- **Condiciones limitantes:** De forma genérica para todos los POAs se requiere adición de reactivos en forma constante así como el uso de agentes oxidantes de manejo complejo. Por otra parte, estos procesos presentan capacidad para tratar efluentes con concentraciones menores a 5 g/L de DQO. Para mayores concentraciones, el elevado consumo de agente oxidante y la mejora en el balance energético del proceso, hacen preferibles las técnicas de oxidación directa tales como la oxidación húmeda. A continuación se especifican las condiciones limitantes para cada uno de los POA expuestos anteriormente.

POA	CONDICIONES LIMITANTES
Ozonización en medio alcalino	<ul style="list-style-type: none"> - Baja solubilidad del ozono en agua. - Coste de generación de ozono mediante descarga eléctrica. La energía que se requiere para la síntesis de ozono a partir de aire oscila entre 22 y 33 kWh/kg O₃, mientras que a partir de oxígeno se reduce a 12-18 kWh/kg O₃ al que hay que sumar el coste del oxígeno. - Presencia en aguas residuales y naturales de carbonatos, bicarbonatos así como otros neutralizantes del radical hidroxilo.
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂) y (O ₃ /H ₂ O ₂ /OH ⁻)	<ul style="list-style-type: none"> - Al coste del ozono alcalino se añade el coste del peróxido de hidrógeno.
Métodos ozono-ultravioleta: O ₃ /UV, H ₂ O ₂ /UV y O ₃ /H ₂ O ₂ /UV	<ul style="list-style-type: none"> - El coste de la generación de radiación UV es elevado. - La eficacia de la radiación es baja. - La economía del proceso requiere que el compuesto a degradar absorba en el UV. En general la absorbancia de la mayoría de los contaminantes orgánicos es baja y las reacciones fotoquímicas que se originan tienden a generar mezclas complejas de productos intermedios en lugar de mineralizar el contaminante.
Peróxido de hidrógeno y catalizador (H ₂ O ₂ /Fe ²⁺)	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza un catalizador homogéneo. - El pH del medio debe ser controlado en el intervalo 3-6, debido a que en medio básico el hierro deja de promover la formación de radicales. - Los ácidos orgánicos pueden secuestrar el hierro sacándolo del ciclo catalítico.
Foto-Fenton (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ /UV)	<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficacia de la radiación. - Necesidad de controlar estrechamente el pH.
Oxidación avanzada con ultrasonidos (O ₃ /US y H ₂ O ₂ /US)	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso intensivo en energía - Tecnología en sus primeras fases de desarrollo, aún no existen aplicaciones comerciales.
Métodos electroquímicos (Oxidación anódica, Electro-Fenton)	<ul style="list-style-type: none"> - Duración de los electrodos. - Coste elevado debido a la energía.
Ozonización catalítica (O ₃ /Cat.)	<ul style="list-style-type: none"> - Baja solubilidad del ozono, que debe transferirse desde el gas. - Limitaciones a la transferencia de materia en un sistema trifásico.
Procesos fotocatalíticos (O ₃ /TiO ₂ /UV y H ₂ O ₂ /TiO ₂ /UV)	<ul style="list-style-type: none"> - Eficacia reducida si no se utilizan otros reactivos. - Bajo rendimiento de la radiación. - Limitación en la disponibilidad de fotocatalizadores. - Limitaciones a la transferencia de materia.

- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Sí, el efluente se reutiliza en la industria textil, riego agrícola y de áreas verdes recreativas.
- **Subproductos generados**

Residuos	No genera.
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** 20 años.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria elaboración de productos lácteos.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Elaboración de productos de harinas y pastelería.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Industria de bebidas.	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N_T, P_T, coliformes, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ y PO₄²⁻, Cloruros.
Minería	Varían en función del metal extraído. -Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N_T, P_T, Conductividad, K, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ , metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). -Explotación Cu: pH, conductividad, S ²⁻ , metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). - Explotación Au y Ag: CN ⁻ , As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO ₄ ²⁻ .
Industria de papel y madera.	DQO, DBO, MES, AOX, N_T, P_T, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
Industria de curtidos y textil.	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl⁻.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No se han detectado.	No aplica
Extranjero	ITACA (España)	http://itaca.adasistemas.com/
	Instituto Tecnológico Metalmecánico (España)	http://www.aimme.es/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

A excepción de la tecnología de ozonización, los procesos de oxidación avanzados para el tratamiento de aguas servidas y riles no tienen aplicabilidad en Chile. Son tecnologías que requieren una inversión económica alta y a día de hoy solamente existe alguna aplicación piloto en laboratorios por grupos de investigación.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN



Figura 1: Tratamiento de Efluentes Industriales por Oxidación Avanzada, TRISA, Constantí (Tarragona)



Figura 2: Planta Oxidación en funcionamiento, FMC Foret Sant Cugat del Vallés (Barcelona).

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Las combinaciones posibles se resumen en tres categorías fundamentales;

a) Combinación de varios POA: Se ha investigado la combinación del proceso de foto-fenton con otros POA tales como ozono, TiO_2 y ultrasonidos. No obstante, los resultados no son suficientemente satisfactorios para proceder al escalado del proceso, ya sea por razones técnicas o económicas.

b) Combinación de POA y tratamiento físico-químico: Los principales tratamientos físico-químicos que se han integrado con POA son: coagulación, adsorción en carbón activo, filtración y separación por membranas.

c) Combinación de POA y tratamiento biológico: Esta alternativa de integración es la más prometedora y la que conlleva estudios de mayor aplicación. En cualquier caso, el objetivo es el diseño de un tratamiento integrado adecuado que minimice los costes del proceso global. Dado que los POA son mucho más costosos que los tratamientos biológicos, la clave está en reducir el tiempo de tratamiento y el consumo de reactivos en el POA manteniendo la capacidad del sistema para descontaminar el agua de manera efectiva. Recientemente se ha publicado una revisión que recoge los estudios publicados entre los años 2000 y 2009 acerca de la combinación de POA y procesos biológicos para la descontaminación de aguas residuales (Oller et al., 2010).

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Debido a que los POA son una tecnología emergente y en fase de desarrollo, no se dispone de la experiencia ni datos económicos de esta tecnología implementada a mayor escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta García Luis, 2009. Proceso fotofenton de oxidación química para el tratamiento de aguas industriales. Universidad Carlos III de Madrid, Proyecto fin de Carrera.
2. Arroyave Rojas Joan Amir, Garcés Giraldo Luís Fernando, Arango Ruiz Álvaro de Jesús, Marcela Agudelo López Carlota, Martínez Rivera Carlos Andrés, 2008. Degradation of the tartrazine dye by the use of heterogeneous photocatalysis with an ultra-violet lamp. *Producción + Limpia*, Vol.3, n° 2.
3. Bhattacharyya, T. F. Van Dierdonck, S. D. West, A. R. Freshour, 1995. Two-phase ozonation of chlorinated organics, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 41, Issue 1, pp. 73-93D.
4. Cheves Walling, 1975. Fenton's Reagent Revisited, *Accounts of Chemical Research*, Vol. 8.
5. D. Mansilla Héctor, Lizama Cristian, Gutarra Abel, Rodríguez Juan. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil.
6. D. Mansilla Héctor, Lizama Cristian, Gutarra Abel, Rodríguez Juan. Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil.
7. Esplugas Santiago, Giménez Jaime, Contreras Sandra, 2002. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation, *Water Research*, 36 pp. 1034-1042.
8. Garcés Giraldo Luis Fernando, Mejía Franco Edwin Alejandro, Santamaría Arango Jorge Julián. Photocatalysis as an alternative to treat waste water. *Revista Lasallista de Investigación*, Vol. 1, pp. 83-92.
9. García Morales Marco Antonio, Roa Morales Gabriela, Barrera Díaz Carlos, Balderas Hernández Patricia, Pavón Silva Thelma. Remoción de materia orgánica de un agua residual de la industria de bebidas carbonatadas mediante un proceso de oxidación avanzado.
10. García-Ochoa, F., Santos, A. 1998. Oxidación Catalítica de Compuestos Fenólicos en Aguas Residuales. Universidad Complutense de Madrid, 28040, 1-9.
11. Red CYTED VII-G. 2001. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Ed. Miguel A. Blesa.
12. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas

residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

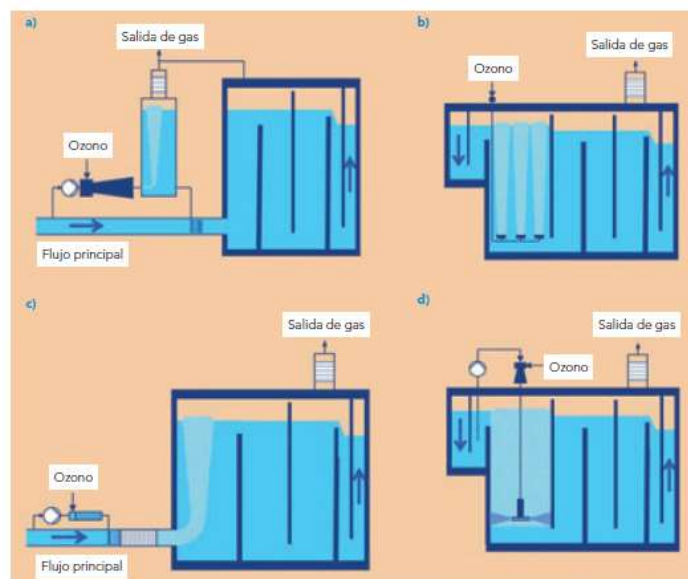
13. Schumacher, J., Pi, Y.Z., Yekel, M. 2004. Ozonation of persistent DOC in municipal WWTP effluent for groundwater recharge. *Water Science and Technology*. 49: pp. 305-310.
14. Shih-Hsiung Sheu, Hung-Shan Weng Treatment of olefin plant spent caustic by combination of neutralization and fenton reaction., PII S0043-1354(00)00466-8.
15. Winn-Jung Huang, Guor-Cheng Fang, Chun-Chen Wang, 2005. A nanometer-ZnO catalyst to enhance the ozonation of 2, 4, 6-trichlorophenol in water, *Colloids and Surfaces, Physicochem. Eng. Aspects* 260 pp. 45–51.
16. Winpenny James, Heinz Ingo, Koo-Oshima Sasha, 2013. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Informe sobre temas hídricos FAO (35) ISSN 1020-1556.

TECNOLOGÍA DE OZONIZACIÓN

- **Descripción de la tecnología:** El principio de esta tecnología se basa en la disociación de una molécula de oxígeno (O_2) mediante una fuente de energía, seguidamente se producen átomos de oxígeno que posteriormente chocan con una molécula de oxígeno para formar un gas inestable, el ozono (O_3). Cuando el ozono se descompone en agua, los radicales libres del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y del hidróxido (OH) formados se caracterizan por su gran poder de oxidación así como por desempeñar un papel activo en el proceso de desinfección. De este modo, el O_3 es un efectivo agente oxidante y desinfectante incluso a bajas concentraciones (0,05 - 0,1ppm) eliminando del agua no tan solo microorganismos, sino también endotoxinas y virus. Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes.

Este gas se puede generar in situ mediante equipos comerciales. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales generan ozono mediante la aplicación de una corriente alterna de alto voltaje (6 a 20 kilovoltios) a través de una brecha entre placas dieléctricas de descarga, donde se localiza un gas de alimentación que contiene el oxígeno. El ozono es generado en la planta debido a que el gas es inestable y se descompone en oxígeno elemental en un período de tiempo corto posterior a su generación. Posteriormente a su generación, el ozono se transfiere a una cámara de contacto de flujo vertical de caída que contiene el agua residual a tratar. El propósito principal de la cámara de contacto es transferir el ozono que se encuentra dentro de la burbuja de gas al cuerpo del líquido, permitiendo suficiente tiempo de contacto para la desinfección. Debido a que el ozono se consume rápidamente, debe proveerse un contacto uniforme en una cámara de flujo en pistón (tubular).

Seguidamente se presentan diversos diseños de equipos de ozonización a escala industrial (a) columna de burbujeo con inyector Venturi (b) columna de burbujeo con difusores (c) columna de burbujeo con mezcladores estáticos (d) columna de burbujeo con difusor radial.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Cianuro.
Normas de emisión:	Cianuro, sulfuros, Sólidos suspendidos totales (SST), DBO.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Sólidos suspendidos totales (SST), DBO, hierro, cianuro, sulfuros, nitrito, compuestos organohalogenados (AOX).
Parámetros no normados:	Compuestos coloreados poliaromáticos que habitualmente incorporan iones metálicos (Cu, Ni, Zn, Cr), tensoactivos, DQO, turbidez, magnesio, fenoles, detergentes, pesticidas, compuestos nitrogenados, metales disueltos, COD, atrazina, simazina, terbutilazina, bromacilo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	20-30 minutos.
Pre-tratamiento:	Coagulación, sedimentación, filtración, tratamiento biológico.
Temperatura:	A menor temperatura, mayor tiempo el ozono está en el agua y por tanto mayor aumenta el poder desinfectante.
Selectividad:	Selectivo.
Tipo de operación:	Continuo.

- **Eficiencia de remoción**

	Atrazina (%)	Simazina (%)	Terbutilazina (%)	Bromacilo (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	n.d	n.d
Máximo	100	100	100	100

(n.d: no definido).

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** Las necesidades de ozono en las distintas aplicaciones pueden variar desde 1 kg/h hasta 500 kg/h. Este caudal varía en función del volumen de agua residual a tratar, su contenido en sustancias contaminantes y el objetivo final del tratamiento.
- **Caudal de efluente a generar:** 100 % del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** No aplica.
- **Consumo de energía:** A determinar en función de la planta de tratamiento.
- **Condiciones limitantes:** La condiciones limitantes para esta tecnología son las siguientes:

- Una baja dosificación podría no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes. Una vez terminada la aplicación, el ozono no mantiene un poder desinfectante residual en el agua.
 - Los voltajes elevados que se manejan en los equipos los hacen técnicamente complejos en su mantenimiento, operación así como generan costos elevados de operación.
 - El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable. Por otra parte el ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, con lo que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?** Sí, para regadío, efluentes industria textil, procesos de calderas, lavado de maquinarias y vehículos de carga y sistemas de enfriamiento en circuitos cerrados.

- **Subproductos generados**

Residuos	En aguas con concentraciones de iones bromuros superiores a 100 µg/L se forman subproductos organobromados, que normalmente están por debajo de los valores límite establecidos.
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** 15 años, en función de la correcta mantención del reactor.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Industria de papel y madera.	DQO, DBO, MES, AOX, NT, P_T , Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
Industria de productos químicos.	PO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻, F⁻, nitrógeno amoniacal, metales (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As), AOX, SST, pH, DQO, TOC, S²⁻, N_T, fenoles, benceno, hidrocarburos totales, AOX, P_T, HCH, tolueno, etilbenceno y xileno.
Industria productos químicos – detergentes.	pH, DQO, TOC, S₂⁻, PO₄³⁻, NT, fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, PT, As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBD, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difenileter, CN⁻ y F⁻.
Industria de curtidos y textil.	pH, DQO, DBO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N_{ORG}, P_T, AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl⁻.

PROVEEDORES

	Nombre de la empresa	Página web
Chile	Hidrofresh	http://www.hidrofresh.cl/
	Grupo Bestway	http://www.grupobestway.cl/
Extranjero	Cosemar Ozono (España)	http://www.cosemarozono.es/empresa/
	Cosmos (México)	http://www.cosmos.com.mx

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Esta tecnología es utilizada actualmente en Chile. Concretamente, la empresa Hidrofresh tiene en marcha un proceso de tratamiento que consiste en la recepción de las aguas servidas pretratadas desde el decolorador de la planta existente, para posteriormente ser impulsadas al filtro multietapa y de ahí evacuadas al estanque de 2,2 m³ con sistema de desinfección ecológico por ozono.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

La combinación de etapas biológico-ozonización es habitual en los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales. Un ejemplo es la instalación de tratamiento de aguas residuales de la compañía papelera SCA Graphic Laakirchen. Esta compañía se encuentra en la Región de Salzkammergut (Austria) y posee una capacidad de producción de 486.000 t/año de papel. Como resultado de su actividad esta compañía genera anualmente 7.240.000 m³ de aguas residuales con una carga en DQO próxima a los 7.800.000 kg.

Otro uso habitual del ozono aplica a las aguas residuales provenientes de la industria textil. Actualmente es posible descomponer la estructura de sustancias contaminantes y reutilizar hasta 8 veces el efluente en el proceso de producción de telas.



Figura 1: Proceso de ozonización.



Figura 2: Desinfección por ozono.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Para la aplicación de procesos de ozonización, generalmente el efluente líquido se somete previamente a una serie de tratamientos físico-químicos. El pretratamiento consiste en una serie

de equipos separadores de sólidos para remoción de todos aquellos sólidos gruesos del efluente a tratar. Así mismo, es recomendable la instalación de cámaras desgrasadoras y si se considera necesaria la instalación de un desarenador.

La desinfección con ozono se utiliza generalmente en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua residual ha recibido al menos tratamiento secundario. Además de la desinfección, otro uso común del ozono en el tratamiento del agua residual es el control de malos olores. El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta; sin embargo, los costos de inversión así como los gastos de mantenimiento no son competitivos con las alternativas disponibles. En definitiva, el ozono es utilizado con poca frecuencia, principalmente en casos especiales en los cuales otras alternativas no son efectivas.

ESTIMACIÓN COSTOS

El costo de los sistemas de desinfección con ozono depende del fabricante, de la ubicación, de la capacidad de la planta, y de las características del agua residual a ser desinfectada. El costo del proceso de ozonización, comparado con otras técnicas de desinfección, como por ejemplo la cloración o la desinfección UV, puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.

PLANTA OZONIZACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$) (2)	Costos inversión total (US \$) (1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)
<i>Caudal 1</i>	25	49.130	4.913	54.043	1.999
<i>Caudal 2</i>	157	365.229	40.581	405.810	29.970
<i>Caudal 3</i>	250	482.825	53.647	536.472	53.647
<i>Caudal 4</i>	500	731.825	81.314	813.139	81.314
<i>Caudal 5</i>	1000	1.109.240	123.248	1.232.489	123.248
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					
<i>Costos de inversión total.</i>		$y = -0,8884 x^2 + 2064,1 x + 48524$		<i>Rango de aplicación: 25 a 1.000 m³/h Costos de: 99.571 a 1.224.224 US\$</i>	
<i>Costos anuales de operación y mantenimiento.</i>		$y = -0,0983 x^2 + 222,59 x - 1687,5$		<i>Rango de aplicación: 25 a 1.000 m³/h Costos de: 3.816 a 122.603 US\$/año</i>	
DESGLOSE DE VARIABLES					

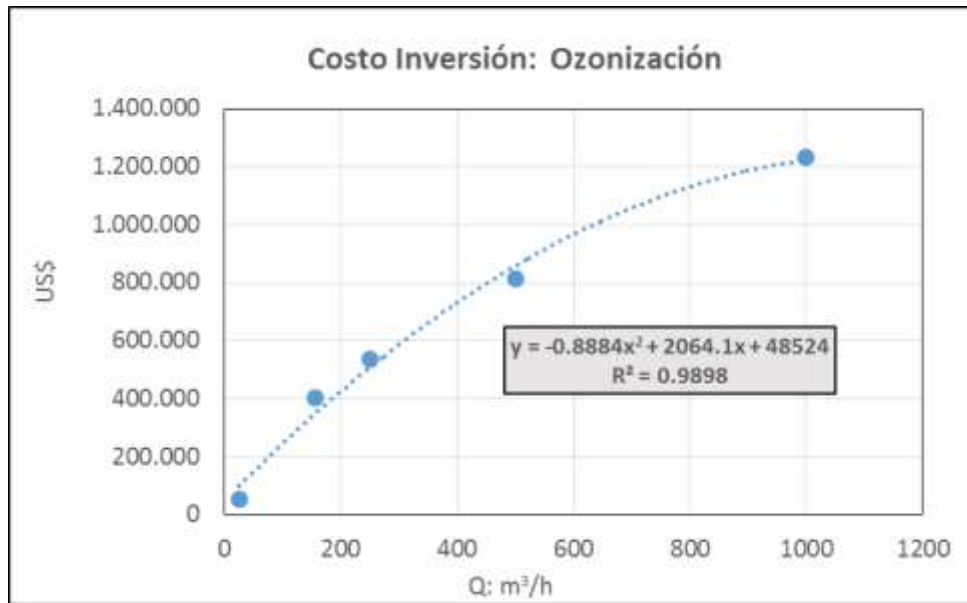
Reactivos		
Aditivo	Consumo (L/m ³)	Costo (US \$)
Ozono (reactivo oxidante)	n.d	110 L (5182 \$)
Consumo energético planta		
4,2 kW (planta de 25 m ³ /h). El consumo va asociado al tamaño de la planta y horas de funcionamiento.		
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
25	30	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Especialización del personal	Costo (US \$/año)
Una (1)	Operador (media). Éste debe conocer todos los procedimientos de operación de emergencia requeridos, así como el equipo de seguridad industrial disponible en caso de emergencia.	Operador (19.440)
Control y monitoreo		
Se debe monitorear el sistema de alimentación y distribución de ozono para asegurar que el volumen necesario tenga contacto suficiente con las aguas residuales. Por otra parte es imprescindible mantener los niveles ambientales de ozono por debajo de los límites de las regulaciones de seguridad aplicables.		
Vida útil de los equipos		
15 años, teniendo en cuenta reemplazo de filtros, aceite del compresor y repuestos dieléctricos.		

Costos calculados a partir del caudal 2 mediante factor de capacidad y exponente de Williams (exponente = 0,6). El costo de operación y mantenimiento correspondientes a los caudales Q3-Q5 representa un 10% del costo de inversión total, de forma conservadora y teniendo en cuenta el aumento del caudal de tratamiento, ya que los costos de operación y mantenimiento para Q1 y Q2 oscilan entre 3.7 – 7.38 % de los costos de inversión total (según datos reales).

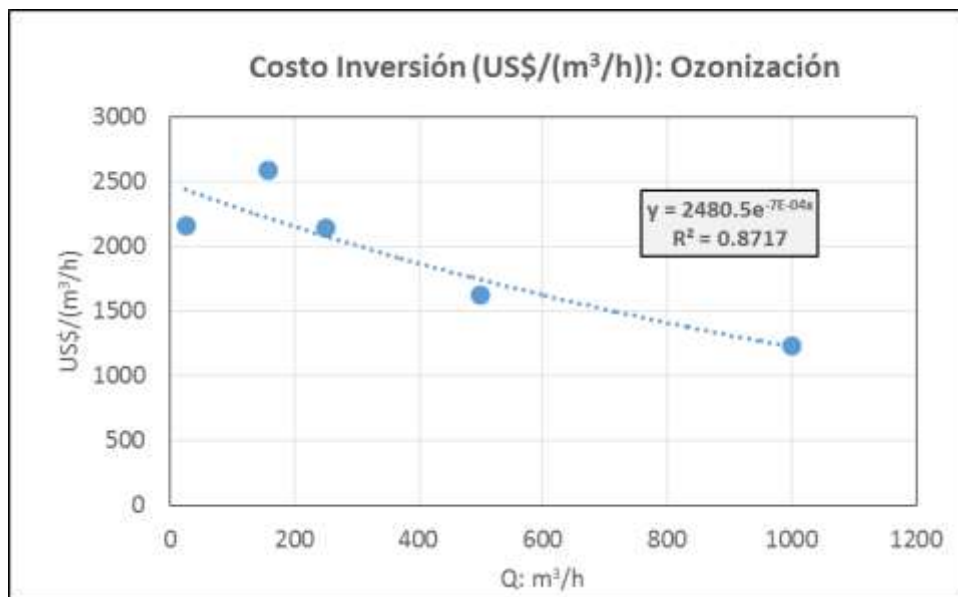
Los costos de equipos y obra civil han sido calculados según datos bibliográficos, siendo equivalentes al 90 y 10% respectivamente de los costos totales de inversión.

- Representación de las funciones de costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

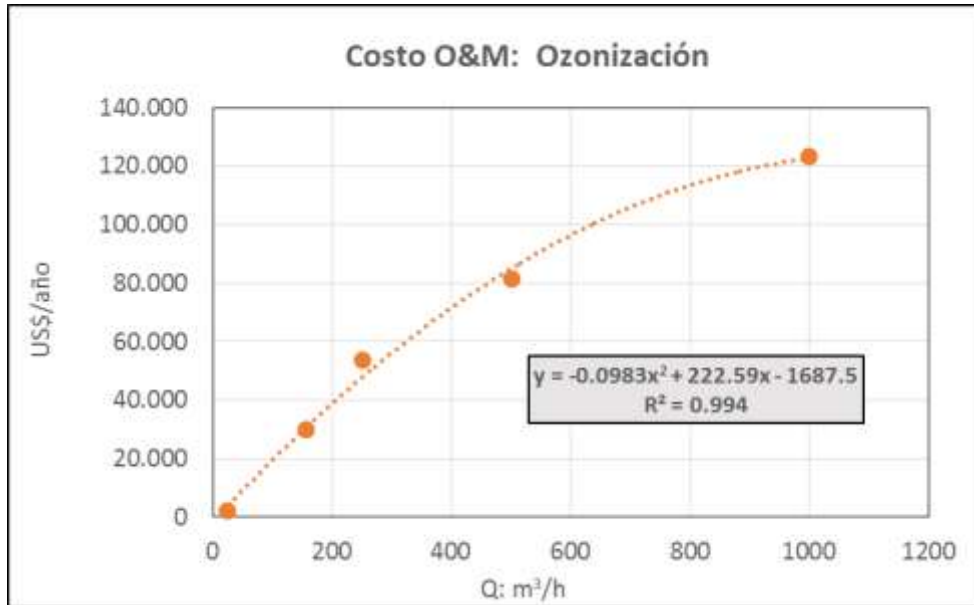


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

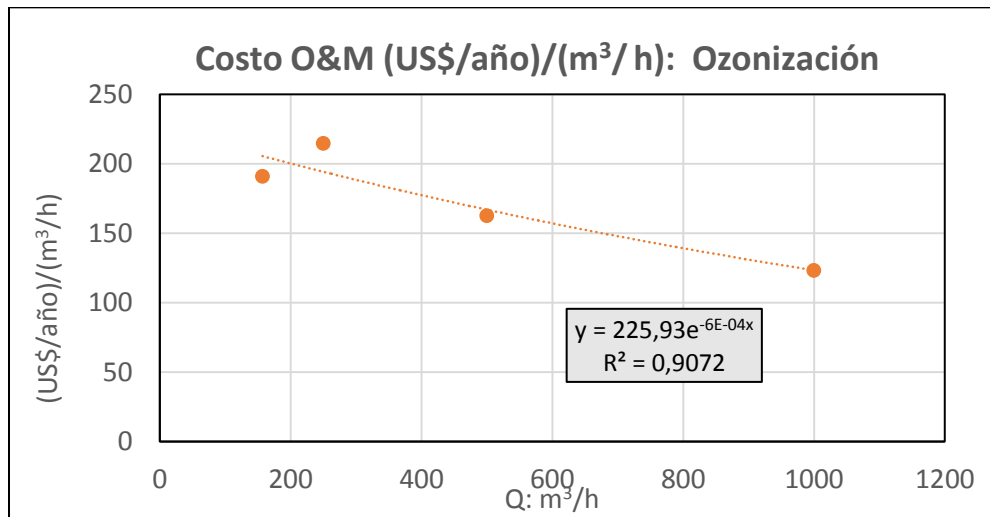


• Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bataller, M.O., Fernández, L.A., Véliz, E., 2010. Revisión de la Eficiencia y Sostenibilidad del Empleo del Ozono en la Gestión de los Recursos Hídricos. Rev. Int. Contam. Ambient. 26 (1) pp. 85-95.

"Tecnologías de abatimiento de contaminantes para el tratamiento de residuos líquidos de instalaciones industriales y plantas de tratamiento de aguas servidas".

2. Glaze W. H., Weinberg H., 1993. Identification and occurrence of ozonation by-products in drinking water. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, pp.215-221.
3. Glaze W. H., Weinberg H., 1993. Identification and occurrence of ozonation by-products in drinking water. En: American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, pp.215-221.
4. Ormad Melero, M.P., Javier García, F., Munarriz Cid Castillo, B., 2009. Eliminación de plaguicidas en aguas de abastecimiento mediante cloración, ozonización y adsorción con GAC. Tecnología del Agua.
5. Richardson S.D., Thurston A.D., Caughtran T.V. et al. 1999. Identification of new by products in drinking water. Environ Sci. Technol. 33, pp. 3368-3377.
6. Richardson S.D., Thurston A.D., Caughtran T.V. et al., 1999. Identification of new by products in drinking water. Environ Sci. Technol. 33, pp. 3368-3377.
7. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, M. Sanz García Juana, 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.
8. Von Günter U., 2003. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. Water Res. 37, pp. 1469-1484.
9. Webpage La Ciencia del Ozono <http://www.cienciadelozono.es/category/aguas-residuales/>

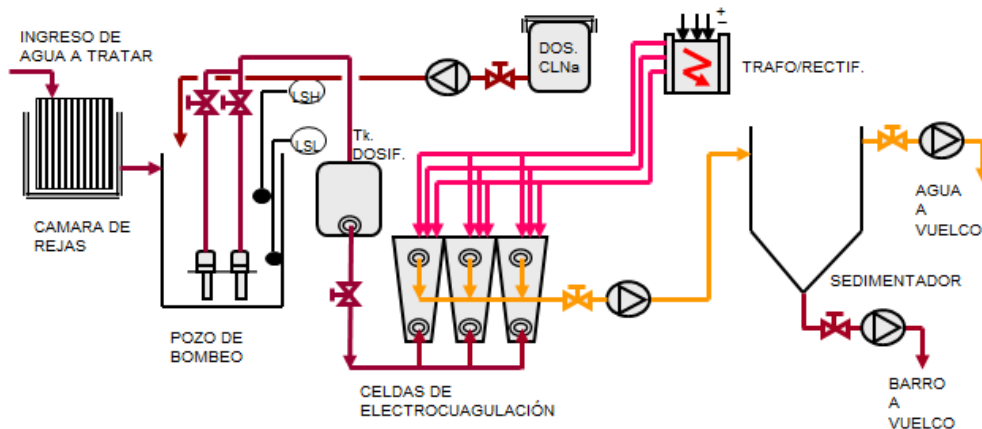
REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

1. Eco 3 Sistemas de ozono, 2006. Propuesta integración sistema de ozonificación planta tratamiento riles pesquera Ludrimar Ltda.
http://seia.sea.gob.cl/archivos/Anexo_3_Propuesta_tecnica_Ozonificacion.pdf
2. United States Office of Water EPA 832-F-99-063, 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con ozono.

TECNOLOGÍA DE ELECTROCOAGULACIÓN

- Descripción de la tecnología:** La electrocoagulación es un proceso electroquímico en el que a partir de compuestos de disolución anódica, se consigue la agrupación de la materia coloidal existente en un agua residual, posibilitando su separación posterior mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido (decantación, flotación).

Aplicando una diferencia de potencial a la celda se consigue la generación de iones en disolución; de esta forma se obtienen hidróxidos insolubles sobre los que quedan retenidos los contaminantes y/o hidróxidos complejos catiónicos o aniónicos, los cuales desestabilizan las fuerzas de repulsión electrostáticas existentes en la materia coloidal (mediante neutralización de cargas o formación de enlaces intrapartícula) formando agregados (flóculos) con los contaminantes sin necesidad de añadir aditivos químicos.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Cromo hexavalente, arsénico, cadmio.
Normas de emisión:	Cromo hexavalente, DBO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, boro, cobre, molibdeno, arsénico, aluminio, cadmio, hierro, manganeso, níquel, selenio.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Cromo hexavalente, DBO, aceites y grasas, nitratos, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, boro, cobre, molibdeno, arsénico, aluminio, calcio, cadmio, hierro, manganeso, níquel, selenio.
Parámetros normados:	no Material orgánico e inorgánico, metales de aguas residuales de diferentes fuentes e industrias, flúor, turbidez, DQO, polifenoles, bario, cobalto, magnesio.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Condiciones operativas**

Tiempo:	10 – 60 segundos.
Pre-tratamiento:	Cuando la conductividad del agua a tratar no es elevada, es frecuente la adición de un electrolito soporte para aumentar su valor, consiguiéndose así una disminución en el potencial de la celda y en consecuencia, un ahorro energético considerable. Una de las sales más empleadas para este fin es el cloruro sódico (Na Cl), ya que se ha determinado que los iones cloruro pueden contrarrestar los efectos negativos de aniones como el HCO_3^- y el SO_4^{2-} .
Temperatura:	De forma general un proceso electroquímico se lleva a cabo a temperatura inferior a 80°C, sin embargo, hasta el momento el efecto de la temperatura aún está poco estudiado. En el 2004 Chen. y colaboradores determinaron un máximo de eficacia de corriente con temperatura de 60 °C en el proceso de disolución de aluminio. Asimismo, se ha observado un consumo de energía mínimo a 35 °C para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con aceites. Cabe destacar que el calentamiento del agua para alcanzar estas condiciones (con excepción del incremento de temperatura debido al efecto Joule, que ocurre de forma no intencionada), no tiene sentido desde el punto de vista económico.
Selectividad:	Baja
Tipo de operación:	Continuo / discontinuo

- **Eficiencia de remoción**

	DBO (%)	Aceites y grasas (%)	SST (%)	Nitratos (%)
Mínimo	96	n.d	99	99
Promedio	97.5	> 95	99	99
Máximo	99	n.d	99	99
	Fósforo total (%)	Nitrógeno total (%)	DQO (%)	Cr⁺⁶ (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	> 70	> 80	> 90	97
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d
	Arsénico (%)	Aluminio (%)	Bario (%)	Calcio (%)
Mínimo	95	> 99	n.d	96
Promedio	96.5	> 99	> 98	97.5
Máximo	98	> 99	n.d	99
	Boro (%)	Cobre (%)	Polifenoles (%)	Molibdeno (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	83
Promedio	97	99	91	85
Máximo	n.d	n.d	n.d	87
	Cadmio (%)	Cobalto (%)	Hierro (%)	Magnesio (%)
Mínimo	n.d	60	n.d	98
Promedio	> 98	62.5	> 99	98.5
Máximo	n.d	65	n.d	99

	Manganeso (%)	Níquel (%)	Selenio (%)	Zinc (%)
Mínimo	83	n.d	n.d	n.d
Promedio	84	> 99	> 99	> 99
Máximo	85	n.d	n.d	n.d

(n.d: no definido). Eficiencia remoción no determinada: SST, calcio, material orgánico e inorgánico, metales de aguas residuales de diferentes fuentes e industrias, flúor, turbidez, DQO, polifenoles.

- **Capacidad de tratamiento por caudal:** En función del diseño del módulo.
- **Caudal de efluente a generar:** Aproximadamente un 95% del caudal de entrada.
- **Reactivos utilizados según caudal:** Hidróxido de sodio (Na OH) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) para la limpieza de las membranas.
- **Consumo de energía:** 0,1 - 1 kWh/m³
- **Condiciones limitantes:** Las condiciones limitantes son las siguientes;
 - empleo de densidades de corriente inferiores a 20-25 A/m² para el buen funcionamiento del proceso. Altas densidades de corriente permiten unidades de electrocoagulación más pequeñas, sin embargo, densidades de corriente demasiado elevadas aumentan el empleo de energía eléctrica para la reacción paralela de generación de oxígeno y también la potencia disipada en forma de calor por efecto Joule.
 - si la conductividad del agua no es alta y adicionamos electrolitos, la existencia de iones bicarbonato y sulfato en el agua a tratar puede conducir a la precipitación de iones Ca²⁺ y Mg²⁺, favoreciendo la formación de una capa aislante en la superficie de los electrodos, que podría ocasionar un aumento en el potencial de la celda (Chen, 2004) y con ello los costes de tratamiento.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**

Si, para agua de lavados en la industria textil.

- **Subproductos generados**

Residuos	Solución acuosa de hierro y arsénico que debe ser tratada mediante otras técnicas convencionales para separar previamente la mayor parte de agua posible y obtener un subproducto de menor volumen y fácil de gestionar.
Emisiones	No genera.

- **Vida media de la tecnología:** La vida media dependerá del tiempo de uso de los electrodos. Así mismo, el desgaste de los electrodos está directamente relacionado con la corriente aplicada al

sistema (amperaje) y el tiempo de residencia hidráulico del agua residual en la celda de electrocoagulación. Se estima un reemplazo mínimo de los electrodos de una a dos veces por año.

RUBROS Y EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Cultivos en general, cultivo de productos de mercado, horticultura.	DBO ₅ , N _T , P _T , azufre, TOC (Carbono orgánico Total), AOX y pesticidas: organoclorados y organofosfatos.
Industria de curtidos y textil.	pH, DQO, DBO, N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻ , N _{ORG} , P _T , AOX, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, BTX, Fenoles, PAH, TOC, SS, Cl ⁻ .
Industria productos químicos - lavanderías industriales.	pH, DQO, TOC, S ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , N _T , fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P _T , As, Pb, Zn, DCE, DCM, C10-C13, HCB, HCBd, HCH, tolueno, etilbenceno, xileno, compuestos bromados de difenileter, CN ⁻ y F ⁻ .
Industria fabricación de metales y productos elaborados de metal.	Varían en función del metal extraído. -Explotación Fe: pH, Sólidos Disueltos, N _T , P _T , Conductividad, K, NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , metales pesados (Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn). -Explotación Cu: pH, conductividad, S ²⁻ , metales (Fe, Mn, As, Zn, Ni, Cd, Hg, Pb, Cu, Al). - Explotación Au y Ag: CN ⁻ , As, Sb, Cd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, SO ₄ ²⁻ .

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	Ecosystem	http://www.ecosystem.cl/
	AD Ingeniería SA	http://www.adingeneria.cl
Extranjero	Condorchem envitech (Europa, USA, México)	http://condorchem.com/
	ProControl S.L (España)	http://www.procontrolsl.com/

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

La tecnología se encuentra en uso actualmente en Chile. Un ejemplo es el proyecto llevado a cabo en Codelco Chile - División El Teniente, donde la electrocoagulación se aplica en la remediación de relaves mineros.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

La empresa Bio Ala, constituida por un grupo de ingenieros y científicos emprendedores, están desarrollando procesos de última generación para el tratamiento de riles en la salmonicultura con electrocoagulación.



Figura 1: Tratamiento de riles en la salmonicultura con Electrocoagulación.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

La tecnología de electrocoagulación suele ir asociada a tratamientos primarios con objeto de eliminar sólidos y partículas en suspensión. De esta forma conseguimos un efluente adecuado para entrar al sistema.

ESTIMACIÓN COSTOS

Las unidades de electrocoagulación son automáticas, no utilizan productos químicos, consumen menos energía y producen menor volumen de lodos que los sistemas de tratamiento químico y biológico convencionales. Por otro lado las celdas de electrocoagulación se construyen en FVR y se instalan sobre el terreno, por tanto no requieren de obras civiles mayores.

PLANTA ELECTROCOAGULACIÓN					
Caudal de diseño de planta (m ³ /h)		Costo equipos (US \$) (1)	Costo obra civil (US \$)(2)	Costos inversión total (US \$)(1+2)	Costos operación y mantenimiento (US \$)/año
Caudal 1	15	80.400	12.000	92.400	840
Caudal 2	50	161.739	28.542	190.283	3.805
Caudal 3	100	242.267	46.146	288.414	11.536
Caudal 4	500	621.173	136.355	757.529	53.027
Caudal 5	1000	861.149	287.049	1.148.199	91.855
FUNCIONES DE COSTO					
x: Caudal en m ³ /h; y: Costo en US\$					

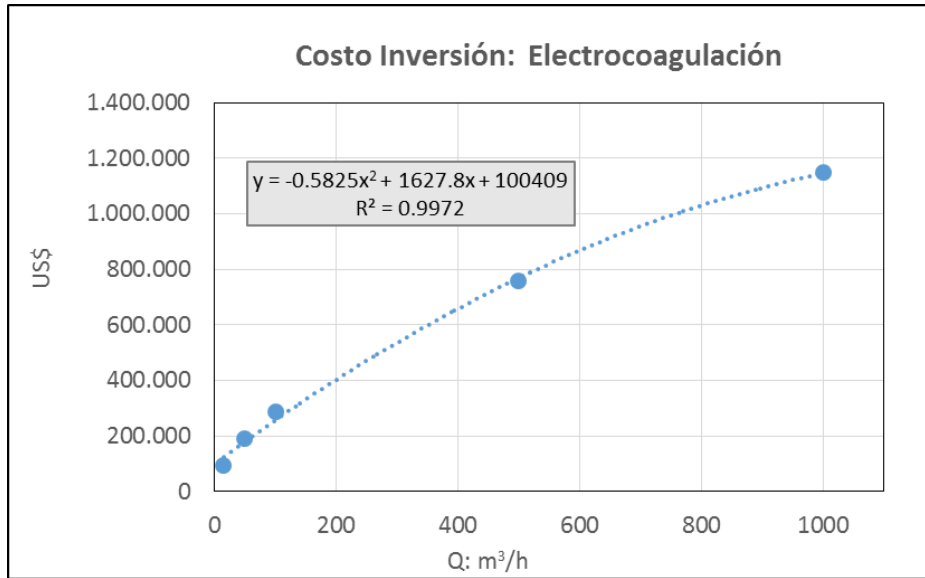
Costos de inversión total.	$y = -0,5825 x^2 + 1627,8 x + 100.409$	Rango de aplicación: 15 a 1.000 m ³ /h Costos de: 124.695 a 1.145.709 US\$
Costos anuales de operación y mantenimiento.	$y = -0,0315 x^2 + 124,73x - 1358,5$	Rango de aplicación: 15 a 1.000 m ³ /h Costos de: 505 a 91.872 US\$/año.
DESGLOSE DE VARIABLES		
Reactivos		
Aditivo	Consumo (kg/m ³)	Costo (US \$)/m ³
Hidróxido de sodio (NaOH) 50%	0,3-0,5	0,060-0,084
Ácido sulfúrico 98 %	0,6-0,8	0,030-0,042
Electrodo de hierro	0,3-0,5	0,015-0,021
Consumo energético planta		
0,1-1 kWh/m ³		
Área ocupada por la instalación		
Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)	
7,92	1,2 (1,8 m. altura)	
Personal calificado necesario para la planta		
Número de personas	Profesión	Costo (US \$/año)
Dos (2)	Supervisor (alta) Operario (media)	n.d
Costos de operación y mantenimiento		
Reemplazo promedio del electrodo de una a dos veces por año.		
Vida útil de los equipos		
En función de la vida media de los electrodos.		

Costos calculados a partir del caudal 1 mediante factor de capacidad y exponente de Willians (exponente = 0,6). El costo de operación y mantenimiento correspondientes a los caudales Q2-Q5 representa entre un 2-8% del costo de inversión total, de forma conservadora y teniendo en cuenta el aumento del caudal de tratamiento, ya que los costos de operación y mantenimiento para Q1 y según bibliografía representan solamente un 1 % de los costos de inversión total (según datos reales), porcentaje que lógicamente aumentará en función del volumen tratado y diseño de la planta.

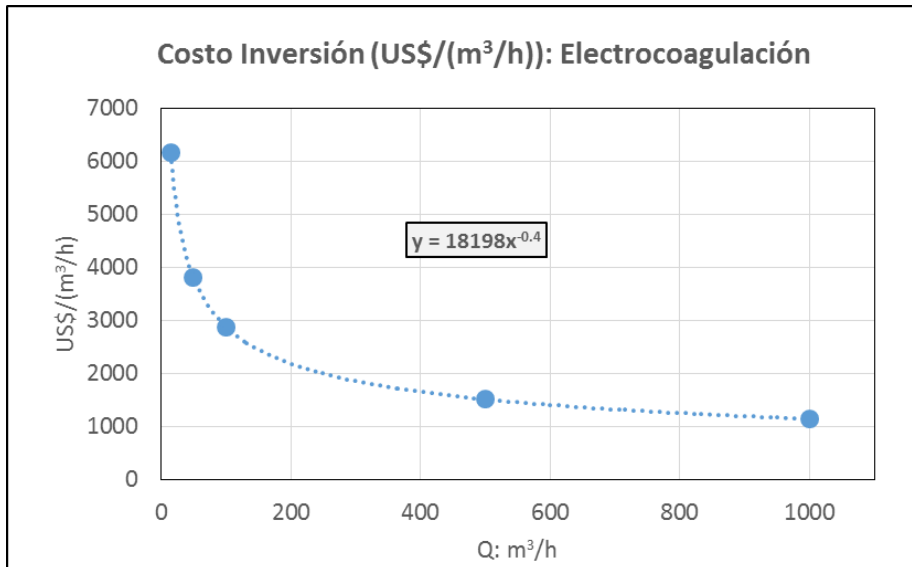
Los costos de equipos y obra civil han sido calculado según datos bibliográficos y de proveedores, oscilando entre un 75-87% (Q5-Q1) los costos de equipos y entre un 13-25% (Q1-Q5) los costos de obra civil respecto a los costos totales de inversión.

- Representación de las funciones de costos de inversión:

Relación de US\$ con el caudal de diseño:

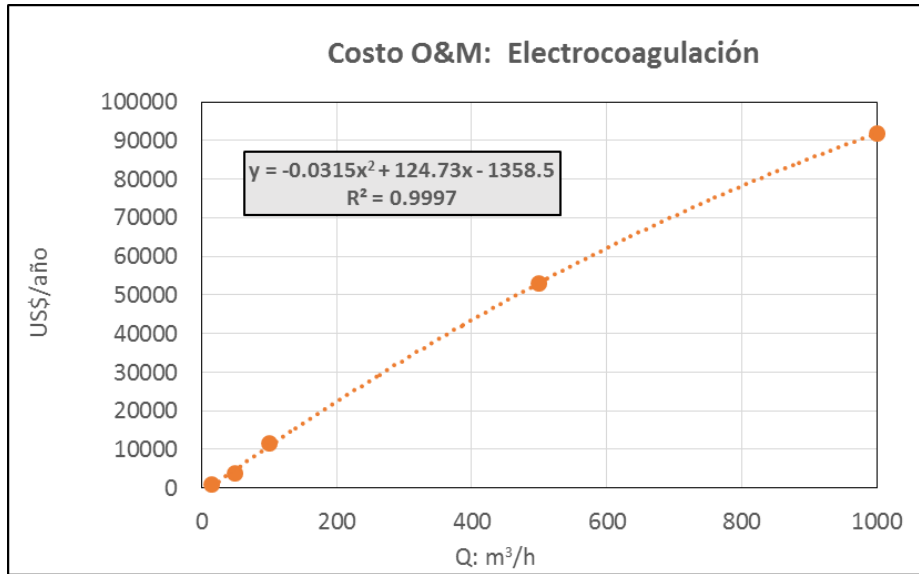


Relación de US\$/(m³/h) con el caudal de diseño:

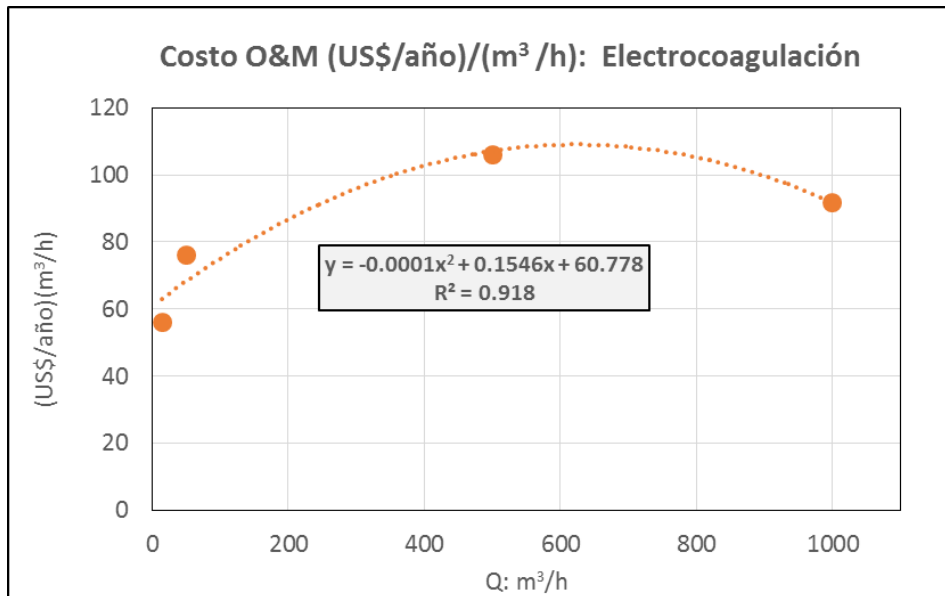


- **Representación de las funciones de costos de operación y mantenimiento:**

Relación de US\$ con el caudal de diseño:



Relación de (US\$/año)/(m³/h) con el caudal de diseño:



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arango Ruíz Álvaro, Garcés Giraldo Luis Fernando, Molina Gallo Sara, Piedrahita Arias Jaime Sebastián, 2008. Cost analysis of the electrocoagulation of wastewater from dairy industries. Producción + limpia Vol.3, n° 2 ISSN: 1909-0455.
2. Arango Ruiz Álvaro, Garcés Luis Fernando, 2007. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Revista Universidad EAFIT, Red de revistas científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal. ISSN 0120-341X, Vol. 43 n° 147, pp. 56-67.
3. Lacueva César, 2005. Artículo técnico descontaminación de aguas residuales por electrolisis en continuo – Proelec, sistema de electrocoagulación.
4. Martínez Navarro Fabiola, 2007. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Universidad de Castilla La Mancha.
5. Restrepo Mejía Ana Patricia, Arango Ruiz Álvaro, Garcés Giraldo Luis Fernando, 2006. Electrocoagulation: Challenges and opportunities in water treatment. Producción + limpia.
6. Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación <http://ecofield.com.ar/blog/tratamiento-de-las-aguas-residuales-mediante-electrocoagulacion/>

REFERENCIAS ESTIMACIÓN COSTOS

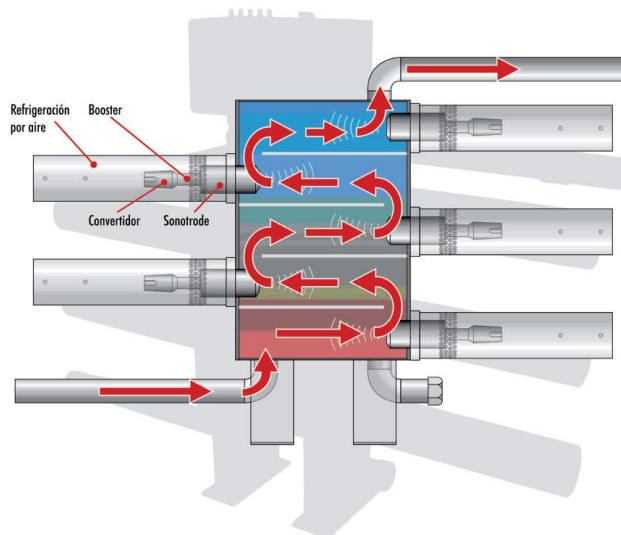
1. Mahmut Bayramoglu, Mehmet Kobya, Orhan Taner Can, Mustafa Sozbir, 2004. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. Department of Environmental Engineering, Gebze Institute of Technology, Engineering Faculty, Turkey.
2. Reyes Ávila D., Darío Mercado I., 2003. Estudio de tratabilidad por electrocoagulación de los lixiviados del relleno sanitario la esmeralda. Departamento de I. Química, Universidad Nacional de Colombia.
3. Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación <http://ecofield.com.ar/blog/tratamiento-de-las-aguas-residuales-mediante-electrocoagulacion/>
4. Comisión Nacional del Medioambiente, Declaración de impacto ambiental, 2007. Sistema de Tratamiento de RILES, Planta Elaboradora de Alimentos Porvenir.

TECNOLOGÍA DE CAVITACIÓN

Descripción de la tecnología: Los ultrasonidos se propagan en el agua mediante una sucesión de compresiones y expansiones repetidas. Mediante una correcta manipulación del medio, a altas intensidades es posible *fracturar* la onda de propagación. El agua cambia velozmente al estado vapor mediante una transición de fase, dando origen a la formación de micro-burbujas.

En la siguiente etapa, las microburbujas son sometidas a una sobrepresión produciéndose “implosiones”, proceso también conocido como cavitación ultrasónica, registrándose presiones cercanas a 500 bar y rangos de temperatura hasta 5000 K, así como unas fuerzas de cizalla que destruyen las paredes celulares de los biosólidos presentes en el lodo. La cavitación se describe como la formación, crecimiento y posterior colapso de cavidades con la liberación de grandes magnitudes de energía a nivel local, creando condiciones similares a puntos calientes y generando condiciones oxidantes fuertes por medio de la producción de radicales hidroxilo y peróxido de hidrógeno.

Los reactores, basado en el uso de irradiación ultrasónica para la generación de cavidades, se han clasificado como reactores sonoquímicos; mientras que cuando las cavidades se generan utilizando medios hidrodinámicos (intercambio de energía y el flujo de energía de presión) se denominan reactores de cavitación hidrodinámica. El siguiente esquema muestra un desintegrador ultrasónico de materia orgánica.



PARÁMETROS TRATADOS

Normas primarias:	Coliformes fecales, cadmio.
Normas de emisión:	Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, manganeso, sulfatos, aluminio, cadmio, cobre, hierro.
Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA):	Nitrógeno total, Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, manganeso, sulfatos, nitrato, aluminio, cadmio, cobre, hierro.
Parámetros no normados:	Biosólidos, hierro – Hn4.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Condiciones operativas**

Tiempo:	Inferior a 60 segundos.
Pretratamiento:	No aplica.
Temperatura:	Temperatura ambiente.
Selectividad:	No es selectiva.
Tipo de operación:	Continua.

- Eficiencia de remoción**

	Mn (%)	SO4 (%)	NO3 (%)	Hierro-Hn4 (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	94,89	78,8	95,8	95
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d
	Al (%)	Cd (%)	Cobre (%)	Fe (%)
Mínimo	n.d	n.d	n.d	n.d
Promedio	97	50	95	98
Máximo	n.d	n.d	n.d	n.d

(n.d: no definido). Eficiencia remoción no determinada: coliforme fecales, nitrógeno total, SST, aceites y grasas, biosólidos.

- Capacidad de tratamiento por caudal:*** En función del diseño de la planta.
- Caudal de efluente a generar:*** Aproximadamente 95 % de caudal de entrada.
- Reactivos utilizados según caudal:*** No aplica.
- Consumo de energía:*** Hasta 2 kW, dependiendo del diseño de la planta.

- **Condiciones limitantes:** Se requiere la utilización de un digestor.
- **¿Existe posibilidad de reutilizar el efluente? Si la respuesta es afirmativa, ¿en qué casos?**
Si, en la mayoría de los casos.
- **Subproductos generados**

Residuos	No aplica.
Emisiones	No aplica

- **Vida media de la tecnología:** Largo tiempo de vida dependiendo de los materiales utilizados en el diseño de la planta.

RUBROS Y/O EMPRESAS CON FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

Empresa / Rubro	Características de RIL
Papel	DQO, DBO, MES, AOX, N _T , P _T , Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn y TOC.
Productos lácteos	DBO, DQO, SST, MES, pH, Aceites y grasas, N _T , P _T , coliformes, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ y PO ₄ ²⁻ , Cloruros.
Químicas y farmacéutica.	pH, DQO, TOC, S ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , N _T , fenoles, benceno, Total Hidrocarburos, Hg, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, AOX, P _T , Zn, tolueno, etilbenceno, xileno, y TOC.

PROVEEDORES

Chile	Nombre de la empresa	Página web
	No Aplica	No se han detectado.
Extranjero	Toscano (España)	www.toscano.es
	Dinotec (España. Rumanía, Perú)	http://www.dinotec.es

USO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA / FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

No existen registros de la implementación de esta tecnología en Chile.

CASOS TIPO DE APLICACIÓN

Como ejemplo, la empresa Dinotec trata microorganismos propios de los riles de la industria avícola (campylobacter, salmonella) mediante cavitación hidrodinámica, así como se emplea esta técnica para tratamiento de agua potable y tratamiento de las aguas de las torres de refrigeración.

Por otra parte, Toscano es una de las empresas que distribuye el sistema de cavitación DUMO Ultralyzer en España y Portugal.



Figura 1: Primera implementación de sistema DUMO en España.

COMPATIBILIDAD CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Como ejemplo comercial, el proceso CAV-OX está desarrollado y patentado por Magnum Water Technology (California) para oxidar contaminantes orgánicos en agua mediante el acople de la tecnología de cavitación hidrodinámica (US), radiación ultravioleta (producida con lámparas de vapor mercurio) y peróxido de hidrógeno. Los oxidantes del proceso, esencialmente radicales hidroxilo e hidropéroxilo, se producen por la acción simultánea de la cavitación y de la fotólisis directa del peróxido de hidrógeno.

Esta técnica presenta otras posibilidades de acoplamiento con de acoplamiento con POA, por ejemplo O_3/US y H_2O_2/US .

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Debido a que la cavitación es una tecnología en desarrollo no se dispone de datos económicos de esta tecnología implementada a gran escala. Los datos serán consultados con expertos en esta tecnología y completados en los siguientes informes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anand G, Parag R, Arthur E, David B., 2009. Industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation and heterogeneous advanced Fenton processing. *Chemical Engineering Journal* 152, pp. 498–502.
2. Rodríguez Fernández-Alba Antonio, Letón García Pedro, Rosal García Roberto, Dorado Valiño Miriam, Villar Fernández Susana, Sanz García Juana M., 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Citme, Ceim, Consejería de educación de Madrid.

3. Toscano C, Vergara L, López F., 2005. Ultrasonidos y Depuración. III Jornadas Técnicas De Gestión De Sistemas De Saneamiento De Agua Residuales. Toscano Línea Electrónica, S.L. pp. 197-207.
4. Tratamiento aguas residuales Ambientum
<http://www.ambientum.com/revista/2011/mayo/Cavitacion-hidrodinamica-solucion-tratamiento-biocida-aguas-industriales.asp>

Anexo B: Tecnologías de remoción de nutrientes



Tecnologías de remoción de nutrientes

En la remoción de los nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, para el cumplimiento de la normativa de calidad de aguas, las tecnologías más empleadas son:

- Nitrógeno: Nitrificación y desnitrificación

Mayoritariamente el nitrógeno presente en las aguas residuales se encuentra en forma de amonio (NH_4) o nitrógeno orgánico (en proteínas, etc.). La remoción del nitrógeno consta de dos fases, una primera, la nitrificación seguida por la desnitrificación.

La nitrificación consiste en un proceso biológico aerobio en el que el amonio se transforma a nitrito y a nitrato. Esta transformación se lleva a cabo mediante las bacterias quimiolitótrofas del nitrógeno, en primer lugar por *Nitrosomonas*, que transforman el amoníaco a nitrito, y en segundo lugar, generalmente, por el grupo de bacterias *Nitrobacter*, que oxidan el nitrito a nitrato.

La desnitrificación es un proceso anaeróbico en que bacterias del tipo heterótrofas, anaerobias facultativas, como las *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, reducen el nitrato a nitrógeno gas (N_2) u óxido nitroso (N_2O).

En función de la forma inicial en que se encuentre el nitrógeno, se aplica una determinada tecnología, nitrificación, desnitrificación, o bien, tratamiento físico. La siguiente tabla muestra las formas de nitrógeno, la tecnología más de común de aplicación y el límite de abatimiento de la tecnología.

Tabla 53. Tecnologías de remoción común para cada tipo de forma de nitrógeno

Forma de nitrógeno	Tecnología de remoción común	Límite de la tecnología (mg/l)
Amonio	Nitrificación	<0,5
Nitrato	Desnitrificación	1-2
Nitrógeno orgánico particulado	Separación de sólidos (sedimentación / filtración)	<1
Nitrógeno orgánico soluble	Ninguna	-

Fuente: EPA, 2007

Fósforo: Remoción biológica del fósforo

Para el abatimiento del fósforo de las aguas residuales mediante procesos biológicos se alternan dos etapas en un mismo proceso, una fase aeróbica y otra anaeróbica en las que se remueve el fósforo en forma soluble. Las bacterias que son más comunes en este tipo de tecnología son bacterias acumuladoras de fósforo (grupo Acinetobacter) que almacenan el fósforo. En la fase anaerobia, las bacterias convierten la materia orgánica disponible en polihidroxialcanoatos (PHA), y para ello utilizan la energía procedente de romper las cadenas de polifosfatos de las bacterias, liberando así el fósforo.

Durante una segunda etapa aerobia, pero sin substratos externos, los PHA generados son utilizados para generar la energía suficiente para el crecimiento de dichos microorganismos, y así, acumular el fósforo liberado en la fase anaeróbica y otros fosfatos que pudieran estar presentes en el agua.

La tecnología de remoción del fósforo es adecuada para una determinada forma del fósforo, la soluble. La siguiente tabla indica la/s tecnología/s más comunes para cada forma de fósforo:

Tabla 54. Tecnologías de remoción común para cada tipo de forma de fósforo

Forma de fósforo	Tecnología de remoción común	Límite de la tecnología (mg/l)
Fósforo soluble	Biológico Precipitación química	0,1
Fósforo particulado	Separación de sólidos (sedimentación / filtración)	<0,05

Fuente: EPA, 2007

Análisis para determinar los costos de remoción de nutrientes

Para poder determinar los costos adicionales en una planta de depuración de aguas, en caso de que la legislación de emisión de contaminantes fuera más restrictiva, tanto de RILES como de aguas servidas (DS 90 y DS 609), se debería en cada caso revisar:

- La carga de contaminantes de nutrientes, nitrógeno y fosforo, de las aguas residuales producidas.
- El sistema de depuración que se está utilizando para la remoción de los contaminantes y conocer que tecnologías son las más adecuadas para el abatimiento de la forma en que se encuentra cada nutriente.
- En función de las tecnologías instaladas en el sistema de depuración y de la factibilidad de los mismos para remover los nutrientes, se determinará si es necesario:
 - i. En caso de que las tecnologías instaladas sean capaces de remover los nutrientes, se revisará el funcionamiento del sistema para adecuarse a los nuevos requerimientos de emisión de contaminantes.
 - ii. Si las tecnologías instaladas no son las adecuadas para el tratamiento de nutrientes, se debe determinar en primer lugar en qué forma se encuentra el nitrógeno y/o fósforo en las aguas residuales y definir qué tecnología es la más adecuada para la remoción específica de estos contaminantes.

En el caso del tratamiento de aguas servidas, el estudio se podría realizar a nivel de este rubro, a partir de la revisión de las tecnologías presentes y estimando los valores característicos de estos parámetros a la entrada de la depuradora, en función de los nuevos límites de emisión.

Anexo E: Emisarios submarinos

Un emisario submarino es una conducción cerrada que transporta aguas residuales desde una estación de tratamiento hasta una zona de inyección en el mar (Biblioteca Nacional de Chile, 2006).

Para la emisión de aguas residuales mediante emisario submarino, el DS 90 establece los límites de emisión de parámetros para su descarga en medios marinos, especificando criterios más restrictivos si se realiza dentro de la zona de protección litoral.

Los emisarios submarinos aprovechan la capacidad de dilución y dispersión del medio marino de los contaminantes para reducir la carga contaminante. Sin embargo, hay que considerar el impacto ambiental asociado a la instalación de estos puntos de descarga de aguas residuales. Previamente a la emisión de los RILES, se debe realizar el pre-tratamiento adecuado a las aguas para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y optimizar la degradación y dilución de los contaminantes. Previos a la descarga de las aguas residuales se encuentran los tratamientos primarios y/o pre-tratamientos.

La instalación de emisarios submarinos presenta ventajas debido a su sencilla operación y mantención y a que fácilmente se pueden diseñar de acuerdo a la variabilidad estacional.

En cuanto a su uso, a partir de la base de datos del DS 90 y del DS 609 se han revisado las empresas y sus puntos de descargas, identificando aquellas que utilizan emisarios submarinos. En la base de datos del DS 90, entre todas las industrias, las empresas de producción y distribución de agua potable son las únicas que descargan a un total de 29 emisarios submarinos. Este valor representa únicamente el 3% de todos los puntos de descarga registrados en esta base de datos.

Así mismo, se han analizado el número de empresas que descargan a emisarios submarinos registrados en la base de datos del DS 609. El 20% de la totalidad de las empresas tienen como punto de descarga uno de los 32 emisarios submarinos identificados en la base de datos.

Costos de inversión y operación y mantenimiento

Los costos de inversión de los emisarios submarinos se obtienen a partir de las declaraciones de impacto ambiental publicadas en la base de datos del Servicio de Evaluación Ambiental. Así mismo se han revisado la longitud, caudal, diámetro y profundidad de los proyectos seleccionados. No se dispone de información sobre el bombeo de aguas residuales, que no se reportan en la mayoría de los proyectos revisados.

Se analizaron los proyectos publicados en los últimos 7 años, de características similares, y que únicamente consideran la construcción del emisario submarino y, en su caso, el pre-tratamiento. Los costos de inversión según rangos de caudal y metros lineales de ducto son los siguientes:

- Caudal entre 2,5 y 120 m³/h y metro lineal entre 81 y 2.320 m: 7.000 – 220.000 US\$.

En general, los costos aumentan a medida que se incrementa tanto el caudal como los metros lineales de conducción. Sin embargo, proyectos que tienen unos costos más elevados, de 1 y 2 órdenes de magnitud mayores, tienen características individuales que hacen incrementar la inversión del proyecto. Este es el caso del emisario submarino que descarga las aguas residuales de una sociedad de varias empresas (Emisario Coronel, S.A.). También se incluye en este tipo de proyectos las instalaciones presentadas por Papeles Norske Skog Bio Bio y por Celulosa Arauco y Constitución, S.A., que tiene varios kilómetros de conducción subterráneos de aguas residuales hasta que llega a la costa, encareciendo estos proyectos. En la Tabla 56 se recogen los datos de proyectos analizados.

En cuanto a los costos de operación y mantención, los emisarios submarinos no requieren de operarios para su funcionamiento. A continuación se describen las tareas de mantención a realizar:

- Revisión visual del emisario cada seis meses.
- Revisión anual del emisario por filmación.
- Revisión bianual del estado del material.

Ambas tareas tienen como objeto identificar posibles roturas, desconexiones, fatigas, etc.

Según los datos publicados en el estudio tarifario del Bio Bio, S.A. los costos de las revisiones más posibles trabajos por reposición de materiales son de 9.900 US\$/año.

Tabla 55. Costos de inversión y datos técnicos de emisarios submarinos

Nombre	Nomenclatura grupo	Caudal (m ³ /h)	Costo Inversión (US\$)	Largo (metros lineales)	Diámetro (mm)	Profundidad (m)
Planta pesquera Rachid Omar	Manipulación y transformación de carne y pescado	2,5	17.077	81	n.d.	6
Núñez Limitada	Manipulación y transformación de carne y pescado	4,3	16.870	240	225	3,5
Enrique Horacio Cabrera	Manipulación y transformación de carne y pescado	5,0	33.739	120	110	6
Estero Huito	Manipulación y transformación de carne y pescado	5,6	15.289	165	n.d.	10
Pesquera Isla del Rey	Manipulación y transformación de carne y pescado	8,5	26.111	278	90	5
Pesquera Leon	Manipulación y transformación de carne y pescado	12,0	23.864	205	140	6
Neogel	Manipulación y transformación de carne y pescado	12,7	171.732	118	n.d.	n.d.
Chile Sea Foods	Manipulación y transformación de carne y pescado	19,4	60.000	185	110	n.d.
Hidrocultivos S.A.	Manipulación y transformación de carne y pescado	60,0	273.023	n.d.	630	n.d.
Moly-cop chile	Manipulación y transformación de carne y pescado	82,0	104.551	48	n.d.	n.d.
Salmones Aucar	Manipulación y transformación de carne y pescado	121,1	219.413	n.d.	200	n.d.

Nombre	Nomenclatura grupo	Caudal (m ³ /h)	Costo Inversión (US\$)	Largo (metros lineales)	Diámetro (mm)	Profundidad (m)
Papeles Norkse Skog Bio Bio	Industria de papel y madera	450,0	3.931.526	6.800	630	n.d.
Pesquera Camanchaca	Manipulación y transformación de carne y pescado	1.200,0	33.739	75	400	n.d.
Emisario Coronel, S.A.	Manipulación y transformación de carne y pescado	2.523,6	6.073.028	590	710	n.d.
Celulosa Arauco y Constitución S.A.	Industria de papel y madera	4.140,0	73.101.267	8.875	900	18

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SEA.

