



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

**Planta de tratamiento de aguas residuales
procedentes de la producción de biodiesel.**

Autor:

Rojo Choya, María

Tutores:

**Coca Sanz, Mónica
Lucas Yagüe, Susana
Ingeniería Química y TMA**

Valladolid, Abril 2015.



1.- INDICE



1.- INDICE	1
2.- RESUMEN	4
3.- INTRODUCCIÓN	6
3.1.- Situación del sector de los biocarburantes	8
3.2.- Qué es el biodiesel	16
3.3.- Proceso de obtención del biodiesel	17
3.4.- Producción de aguas residuales en la industria del biodiesel	21
4.- OBJETIVOS Y ALCANCE	35
4.1.- Objetivo global	36
4.2.- Objetivos parciales	36
4.3.- Alcance	36
5.- BASES DE DISEÑO	37
5.1.- Localización	38
5.2.- Caudal	38
5.3.- Caracterización del vertido	39
5.4.- Límites de vertido (VLE)	42
5.5.- Régimen de funcionamiento	43
5.6.- Descripción del clima de huelva	43
6.- ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	45
6.1.- Tratamientos físicos	46
6.2.- Tratamientos químicos	64
6.3.- Tratamientos físico – químicos	66
6.4.- Tratamientos biológicos	70
6.5.- Selección del tratamiento	80
7.- INGENIERÍA BÁSICA	84
7.1- Diagrama de bloques	85
7.2- Descripción del proceso	85
7.3- Diagrama de flujo y balances de materia	87
7.4- Dimensionado de equipos	94
8.- SEGURIDAD	117
8.1.- Riesgos generales y medidas preventivas	118
8.2.- Estudio hazop – Unidad de flotación por aire disuelto	136
9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA	141
9.1.- Resumen del estudio	142



9.2.- Valoración del beneficio económico asociado a la línea de tratamiento	143
9.3.- Gastos de explotación y mantenimiento	146
9.4.- Beneficio ambiental	153
10. - IMPACTO AMBIENTAL	155
10.1.- Definición, características y ubicación del proyecto.	156
10.2.- Identificación de impactos potenciales	157
10.3.- Valoración de impactos ambientales	161
10.4.- Medidas preventivas y correctoras	163
11.- LEGISLACIÓN	168
11.1.- Normativa europea	169
11.2.- Normativa nacional	170
11.3.- Normativa autonómica andaluza	171
12.- CONCLUSIONES	172
13.- BIBLIOGRAFÍA	177
14.- ANEXOS	186
ANEXO I. Diagramas	188
ANEXO II. Seguridad	192



2.- RESUMEN

En este trabajo se ha dimensionado la línea de aguas de una instalación de tratamiento de aguas residuales generadas por una industria de producción de biodiesel. La capacidad de tratamiento de la planta será de 60 m³/h. Las aguas residuales a tratar poseen un elevado contenido en materia orgánica (DQO=27400 mg/L, DBO=11500 mg/L), aceites y grasas (4100 mg/L) y sólidos suspendidos (1900 mg/L). La línea de tratamiento propuesta constará de un pretratamiento integrado por un desbaste con reja de finos y tamizado, homogeneización con ajuste de pH, coagulación-floculación y flotación DAF. El tratamiento biológico posterior estará compuesto por una etapa anaerobia en reactor UASB y una etapa aerobia de fangos activos, que permite cumplir los límites de vertido establecidos por la legislación vigente. El estudio económico estima los costes anuales en mantenimiento y explotación en 338.000€, obteniéndose un coste medio de tratamiento de 0,84€/m³ de agua tratada.

Palabras clave: Biodiésel, transesterificación alcalina, aguas de lavado, tratamiento de aguas, impacto ambiental.

This work provides the design of a water treatment facility for the treatment of the wastewater generated by a biodiesel production industry. The plant's treatment capacity will be 60 m³/h.

The wastewater to be treated have a high organic content (COD = 27,400 mg/L, BOD = 11,500 mg/L), oil and fat (4100 mg/L) and suspended solids (1,900 mg/L). The line treatment proposed comprise a pretreatment consisting of a thin screen and sieving, equalization with pH adjustment, coagulation-flocculation and DAF flotation. The biological treatment will consist of an anaerobic stage in UASB reactor and an aerobic stage in activated sludge system, which allows to meet the discharge limits established by law.

The economical study estimates the annual maintenance and operating costs in € 338,000, yielding an average treatment cost of € 0.84/m³ of treated water.

Keywords: Biodiesel, alkaline transesterification, wash water, water treatment, environmental impact.



3.-INTRODUCCIÓN



La creciente importancia del agua como recurso natural indispensable, irremplazable y altamente vulnerable, unida al creciente interés por la protección del medio ambiente en general, han conseguido crear conciencia sobre la necesidad de depurar las aguas procedentes de usos tanto urbanos como industriales.

El crecimiento de la industria no sólo ha generado una contaminación creciente de los recursos hídricos. El alto consumo de energía ligado a la industrialización, es en la actualidad la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes acidificantes.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) la emisión de estos últimos contaminantes se ha reducido de modo significativo gracias al tratamiento de los gases de combustión y a la utilización de combustibles más limpios ^[1], entre los que destaca el biodiesel, promovido durante los últimos años como alternativa al diesel del petróleo por las similares propiedades que ambos presentan.

Químicamente, el biodiesel es una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos que cumplen las especificaciones impuestas por la norma de calidad (EN14214 en Europa, ASTM D6751 en EEUU). Se obtiene principalmente a partir de aceites de plantas oleaginosas (como colza, girasol, palma o soja), si bien se pueden utilizar igualmente aceites de fritura usados y grasas animales.

En comparación con el diesel de petróleo, el biodiesel ^[2] supone una bajada en las emisiones de gases de escape, afianza el apoyo al desarrollo económico rural, y procede de una fuente de producción de carácter renovable, presentándose además como una solución de reciclaje para los aceites residuales domésticos y de procesado de alimentos.

La producción de biodiesel se basa en la transesterificación de ácidos grasos. Esta reacción propicia la conversión de los ácidos grasos a ésteres metílicos. Sin embargo, para que la mezcla de ésteres metílicos resultante pueda ser denominada como biodiesel, debe someterse a una etapa de purificación. En esta etapa compuesta por sucesivos lavados con agua, se generan grandes volúmenes de aguas residuales, que supondrían graves daños medioambientales si fueran devueltas al medio sin recibir tratamiento previo. Estas aguas de lavado, arrastran las impurezas contenidas en la mezcla de ésteres metílicos (principalmente trazas de grasas, aceites, catalizador básico, sales, jabones, trazas de glicerol y metanol), de modo que además contienen una elevada carga contaminante.

Desde un punto de vista medioambiental es preciso el tratamiento de este agua residual tanto por su volumen como por su alta carga contaminante. Sin embargo, no existe un tratamiento estandarizado debido al conocimiento escaso que se tiene sobre estas aguas residuales, dada la amplia variabilidad de concentración de los contaminantes presentes y la relativa novedad de esta industria, que comenzó a abrirse paso en Europa a principios de los 90 [3].

3.1.- SITUACIÓN DEL SECTOR DE LOS BIOCARBURANTES

La creciente demanda mundial de energía, el precio ascendente del petróleo y el incremento de las exigencias en lo referente a emisiones gaseosas procedentes de los gases de combustión de los automóviles, que provocan el conocido efecto invernadero, han motivado el estudio de los biocombustibles a lo largo de los últimos años.

Durante la pasada década, el consumo de crudo mundial aumentó desde 3.725,2 millones de toneladas en 2003 a 4.185,1 millones de toneladas en 2013, con una velocidad de crecimiento anual media de aproximadamente el 1.4%. Así mismo, la producción de combustibles derivados del petróleo aumentó de 3.737,5 millones de toneladas en 2003 a 4.130,2 millones de toneladas en 2013 [4].

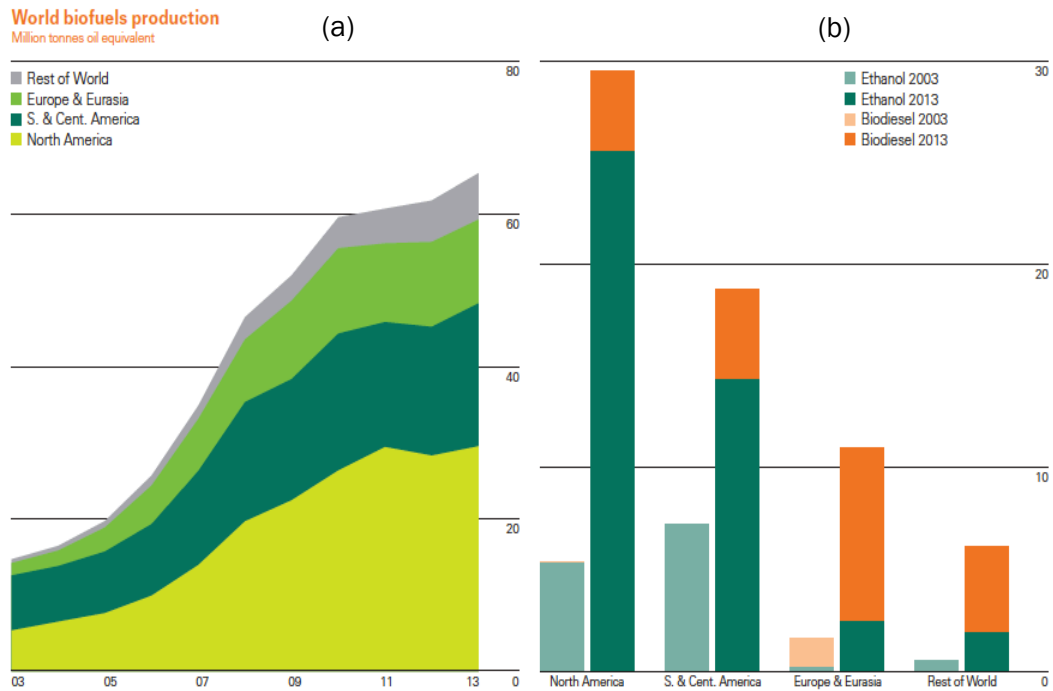
Sin embargo, el petróleo es un recurso limitado con una reserva mundial comprobada de 1.687,9 billones de barriles a finales de 2013, lo cual es sólo suficiente para satisfacer alrededor de 53,3 años de la producción mundial [4]. El previsible agotamiento de esta fuente de energía, ha propiciado preocupación e interés por obtener fuentes de energía alternativas, entre las que los biocarburantes destacan como una buena opción.

A continuación se describe el contexto en el que se encuentra actualmente este sector en los ámbitos mundial, europeo y nacional.

3.1.1.- Situación de los biocarburantes en el ámbito internacional

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el consumo de biocarburantes en el año 2010 representó el 2,11% del consumo de barriles de petróleo a nivel mundial, y el 3,47% del consumo de barriles de petróleo en los países No OPEP, siendo el consumo superior en aquellos países con fuerte apoyo a los biocarburantes, como Brasil (donde el 21% de todos los

carburantes del sector transporte son biocombustibles) o EEUU (donde este índice supera el 4%) [5].



Figuras 3.1a y 3.1b. Producción mundial de biocombustibles en millones de toneladas equivalentes de petróleo. *FUENTE: BP Statistical Review of World Energy, Junio 2014 <bp.com/statisticalreview>*

La **Figura 3.1a** muestra gráficamente el desarrollo de la producción mundial de biocombustibles en la última década. Como se puede observar se ha presentado un aumento progresivo, pasando de una producción mundial inferior a 20 millones de toneladas equivalentes de petróleo en 2003, hasta superar las 60 toneladas equivalentes de petróleo en 2013, año durante el cual la producción mundial de biocombustibles creció en un 6,1% respecto a la correspondiente en 2012.

A nivel mundial la principal región productora de bioetanol es actualmente Norte América, seguida por Sudamérica y Centroamérica, como puede observarse en la **Figura 3.1b**.

En cuanto al biodiesel, el principal productor a nivel mundial es la Unión Europea. En 2003 la producción de biodiesel suponía casi el total de la producción de biocombustibles en la UE, tal como muestra la **Figura 3.1b**.

La producción de bioetanol ha ganado importancia durante ésta última década, pero sin duda sigue predominando la producción de biodiesel. Según los datos registrados en 2012 (**Tabla 3.1**), la UE representaba el 39% de la

producción mundial de biodiesel frente al 15% que representaba EEUU.

Tabla 3.1. Producción mundial de biodiesel. Principales regiones productoras ^[5].

	PRODUCCIÓN DE BIODIESEL, MMt		
	2011	2012	Producción respecto a total (2012), %
UE	9,13	9	39
EEUU	3,90	3,48	15
Argentina	2,43	2,45	11
Brasil	2,35	2,29	10
Otros	4,82	5,7	25
TOTAL	22,02	22,92	-

3.1.2.- Situación de los biocarburantes en Europa

En Europa el sector de los biocarburantes se diferencia del americano principalmente en la proporción de los biocarburantes empleados. El biodiesel representa el 80% del volumen de biocarburantes consumidos en 2013 en la UE frente al 20% de bioetanol, hecho que se debe principalmente a la dieselización del parque automovilístico en Europa frente a la proporción mayoritaria de vehículos de gasolina en EEUU y Brasil.

La **Tabla 3.2**, muestra el **consumo de biocarburantes** del sector transporte en la UE en 2013:

Tabla 3.2. Consumo de biocarburantes en el transporte en la UE (2013) ^[6].

Biofuel consumption for transport in the European Union in 2013 (toe)*

Country	Bioethanol	Biodiesel	Biogas fuel	Others biofuel**	Total consumption
Germany	777 730	1 954 811	34 909	884	2 768 334
France	393 541	2 293 324	0	0	2 686 865
Italy	56 234	1 169 175	0	0	1 225 409
United Kingdom	410 791	603 755	0	0	1 014 546
Spain	180 274	816 461	0	0	996 735
Poland	170 249	744 101	0	0	914 350
Sweden	181 276	535 760	85 223	0	802 258
Austria	55 259	425 112	0	0	480 372
Belgium	49 011	282 794	0	0	331 805
Netherlands	125 108	194 421	0	0	319 528
Denmark	0	297 365	0	0	297 365
Portugal	4 725	273 582	0	0	278 307
Czech Republic	51 765	221 007	0	0	272 772
Finland	93 508	118 420	930	0	212 858
Romania	36 885	159 413	0	10 059	206 356
Greece	0	138 746	0	0	138 746
Slovakia	55 872	79 570	0	0	135 442
Hungary	23 723	66 457	0	16 526	106 705
Ireland	29 095	73 119	0	51	102 265
Bulgaria	0	85 899	0	0	85 899
Lithuania	6 769	51 907	0	0	58 675
Slovenia	5 589	51 353	0	0	56 942
Luxembourg	647	52 721	0	137	53 504
Croatia	1 184	29 016	0	0	30 200
Latvia	6 449	12 372	0	0	18 821
Cyprus	0	15 907	0	0	15 907
Malta	0	4 419	0	0	4 419
Estonia	0	0	0	0	0
Total EU 28	2 715 685	10 750 984	121 062	27 656	13 615 387

* Estimate. ** Pure used vegetable oil and unspecified biofuel. Source: EurObserv'ER 2014.

A la vista de los datos, los países con mayor consumo de biodiesel son Francia y Alemania, ocupando España el cuarto lugar, representando el consumo de biodiesel español el 7,6% del consumo total en la UE.

En la **Tabla 3.3** aparece reflejada la **producción anual de biodiesel** en la UE a fecha de 2010 desglosada por países ^[5]. Puede observarse como principales productores en la UE a Alemania y Francia, que concentraban entre ambos aproximadamente la mitad de la producción europea. La producción de

biodiesel en España ocupaba el tercer puesto, representando el 9,7% de la producción total de la UE.

Tabla 3.3. Producción anual de biodiesel en la UE, 2010 ^[5].

PAÍS	PRODUCCIÓN ANUAL DE BIODIESEL (2010), t	PRODUCCIÓN RESPECTO A TOTAL EU, %
Alemania	2861000	29,9
Francia	1910000	20,0
España	925000	9,7
Italia	706000	7,4
Bélgica	435000	4,5
Polonia	370000	3,9
Otros	2363000	24,7
TOTAL EU	9570000	-

En la **Tabla 3.4**, se hace referencia a las principales industrias productoras de biodiesel en Europa, entre las que destaca la francesa Diester Industrie & Diester Industrie International (Sofiprotéol), con 8 plantas y una capacidad de producción de 2.500.000 toneladas de biodiesel.

Tabla 3.4. Principales industrias productoras de biodiésel en Europa (2013) ^[6].

Production capacity of the main biodiesel producers in Europe in 2013 (tons)

Company	Country	Number of plants in 2013	Production capacity in 2013 (tons)
Diester Industrie & Diester Industrie International (Sofiprotéol)	France	France (5), Germany (1), Italy (1), Belgium (1)	2 500 000
Neste Oil	Finland	Finland (2), Netherlands (1)	1 180 000
Biopetrol Industries	Switzerland	Germany (2), Netherlands (1)	1 000 000
ADM Biodiesel	Germany	Germany (3)	975 000
Infinita (Musim Mas)	Spain	Spain (2)	900 000
Marseglia Group (Ital Green Oil and Ital Bi Oil)	Italy	Italy (2)	560 000
Verbio AG	Germany	Germany (2)	450 000
Cargill/Agravis	Germany	Germany (2)	250 000
Petrotec	Germany	Germany (2), Spain (1)	185 000

Source: EurObserv'ER 2014.

3.1.3.- Situación de los biocarburantes en España

En España al igual que en la Unión Europea la capacidad de producción de biocarburantes se encuentra cubierta en su mayoría por la producción de biodiesel frente a bioetanol, concretamente 95% de biodiesel frente al 5% de etanol.

La comunidad autónoma con mayor capacidad de producción de biodiesel es Andalucía, seguida de Valencia y Galicia. En la **Tabla 3.5** se muestra la capacidad de producción de biodiesel por comunidades autónomas en el año 2010.

Tabla 3.5. Capacidad de producción de biodiesel en España distribuida por CCAA, 2010^[5].

COMUNIDAD AUTÓNOMA	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL (2010), t
Andalucía	995000
Valencia	720000
Galicia	575000
Castilla la Mancha	448000
País Vasco	436000
Extremadura	250000
La Rioja	250000
Murcia	200000
Aragón	170000
Castilla y León	151900
Navarra	98500
Cataluña	86000
Baleares	33000
Asturias	25000
Madrid	15000
TOTAL	4453400

3.1.4.- Situación de los biocarburantes en la CC.AA de Andalucía

A la vista de los datos recogidos en la **Tabla 3.5** Andalucía es líder en España en cuanto a capacidad instalada de producción de biodiesel, por lo que se centrará la atención en esta comunidad autónoma.

A Septiembre de 2014, Andalucía cuenta con once plantas de biocarburantes (puros y aditivos) operativas, que suman una capacidad de producción de biocarburantes de 1281,8 ktep/año. De éstas, siete son de biodiesel, dos de ETBE (EtilTerButil-Éter) y dos de HVO (Hidrobiodiesel).

La **Tabla 3.6** recoge las industrias de producción de biocarburantes operativas en Andalucía. La producción total de biocarburantes en esta CC.AA se registra en la **Tabla 3.7** desglosada por provincias. En esta última tabla,

puede apreciarse como la producción de biodiesel predomina frente a la producción minoritaria de otros biocarburantes como el ETBE o el HVO.

Tabla 3.6. Industrias de producción de biocarburantes en Andalucía [5].

NOMBRE	MUNICIPIO	PROVINCIA	CAPACIDAD PRODUCCIÓN (KTEP/AÑO)	ENTRADA EN FUNCIONAMIENTO
ALBABIO	Níjar	Almería	Biodiesel	8,1
BODIESEL CARBONERAS	Carboneras	Almería	Biodiesel	186,9
ABENGOA BIOENERGÍA SAN ROQUE	San Roque	Cádiz	Biodiesel	180,0
BIOOILS I	Palos de la frontera	Huelva	Biodiesel	450,0
LINARES BODIESEL TECHNOLOGY	Linares	Jaén	Biodiesel	90,0
ENTABAN BIOCMBUSTIBLES DEL GUADALQUIVIR	Sevilla	Sevilla	Biodiesel	45,0
BIOSUR	Palos de la Frontera	Huelva	Biodiesel	216,0
CEPSA SAN ROQUE	San Roque	Cádiz	ETBE	22,11
CEPSA LA RÁBIDA	Palos de la Frontera	Huelva	ETBE	9,89
COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS (CEPSA)	San Roque	Cádiz	HVO	36,9
COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE PETRÓLEOS (CEPSA)	Palos de la frontera	Huelva	HVO	36,9

Tabla 3.7. Producción de biocarburantes en Andalucía ^[5].

<i>PROVINCIA</i>	<i>BIODIESEL, KTEP</i>	<i>ETBE Y HVO, KTEP</i>	<i>TOTAL BIOCARBURANTES, KTEP</i>
Almería	195	-	195
Cádiz	180	59	239
Córdoba	-	-	-
Granada	-	-	-
Huelva	666	46,8	712,80
Jaén	90	-	90
Málaga	-	-	-
Sevilla	45	-	45,0
TOTAL	1176,0	105,8	1281,80

En la actualidad el sector está viviendo un periodo de transición, ya que se ha pasado de una crisis en la que la viabilidad económica de la producción de biocarburantes era mínima o incluso negativa tanto por la baja demanda de biocarburantes como por estrecho margen de fabricación y por la entrada en el mercado español de biocarburantes a menor precio procedentes de terceros países; a una situación actual más favorable, propiciada tanto por el alza de precios de los carburantes fósiles como por la reciente legislación que regula el sistema de cuotas por el que se obliga a los operadores a adquirir el biodiesel en territorio comunitario.

La lista definitiva de las plantas o unidades de producción de biodiesel con cantidad asignada para el cómputo de los objetivos obligatorios de biocarburantes se adjunta a continuación en la **Tabla 3.8**. En ella puede apreciarse como Andalucía, es la comunidad autónoma con mayor cuota asignada, repartida entre cinco instalaciones: BioSur, BioOils, Albabio, Abengoa y Linares.

Tabla 3.8. Lista definitiva de las plantas o unidades de producción de biodiesel con cantidad asignada para el cómputo de los objetivos obligatorios de biocarburantes.
FUENTE: BOE núm. 30, de 4 de febrero de 2014, páginas 8419 a 8426.

**Plantas o unidades de producción a las que se ha asignado cantidad
de producción de biodiésel**

Solicitante	Localidad planta	Asign. Año 1 t(*)	Asign. Año 2 t
ABD-001 Iniciativas Bioenergéticas, S.L.	Calahorra	250.000	250.000
ABD-002 Stocks del Valles, S.A.	Montmeló	31.000	31.000
ABD-003 Biocom Pisuerga, S.A.	Castrojeriz	6.000	6.000
ABD-005 Infinita Renovables, S.A.	Castellón de la Plana	600.000	600.000
ABD-006 Infinita Renovables, S.A.	Ferrol	300.000	300.000
ABD-007 Biodiesel Aragon, S.L.	Altorricón	100.000	100.000
ABD-008 Aceites del Sur Coosur	Tarancón	55.440	55.440
ABD-011 Gestión de Recursos y Soluciones Empresariales, S.L.	Los Arcos	28.160	22.160
ABD-016 Saras Energía, S.A.Unipersonal	Cartagena	200.000	200.000
ABD-020 BIONORTE S.A.	San Martín Rey Aurelio	25.000	25.000
ABD-021 Vesta Biofuels Brunsbüttel GmbH & Co. KG	Alemania	250.000	250.000
ABD-022 Biosur Transformación, S.L.U.	Palos de la Frontera	240.000	240.000
ABD-023 Bionor Berantevilla, S.L.U.	Berantevilla	60.000	60.000
ABD-025 Biodiésel Caparroso, S.L	Caparroso	83.000	83.000
ABD-027 Iberol, S.A.	Portugal	46.895	46.895
ABD-030 Argent Energy (UK) LTD	Reino Unido	45.000	45.000
ABD-032 Ital Bi Oil SRL	Italia	80.000	80.000
ABD-033 Eco Fox SRL	Italia	156.916	156.916
ABD-034 Harvest Energy LTD	Reino Unido	250.000	250.000
ABD-035 Sunoil Bio Fuels BV	Países Bajos	50.000	50.000
ABD-041 SIA BIO VENTA	Letonia	100.000	100.000
ABD-043 Bioteruel SL	Albalate del Arzobispo	5.000	5.000
ABD-044 Novaol SRL	Italia	165.748	147.665
ABD-048 ecoMotion GmbH	Alemania	100.000	100.000
ABD-049 ecoMotion GmbH	Alemania	12.000	12.000
ABD-052 Biodiesel Bilbao, S.L.	Ziérbana	200.000	200.000
ABD-053 Novaol SRL	Italia	203.315	194.717
ABD-055 BIO-OILS Huelva, S.L.U.	Palos de la Frontera	500.000	500.000
ABD-057 Albabio Andalucía, S.L.U.	Níjar	9.000	9.000
ABD-063 Vital Fettrecycling GmbH	Alemania	100.000	100.000
ABD-064 Vital Fettrecycling GmbH	Alemania	85.000	85.000
ABD-066 Biocom Energía, S.L.	Algemesí	110.000	110.000
ABD-069 Abengoa Bioenergía San Roque, S.A.	San Roque	200.000	200.000
ABD-074 Linares Biodiésel Technology, S.L.	Linares	100.000	100.000
ABD-121 BETARenowable Group, S.L.	Elda	30.000	30.000
ABD-122 BETARenowable Group, S.L.	Begonte	35.000	35.000
ABD-124 BETARenowable Group, S.L.	Los Yébenes	6.000,00	6.000,00

3.2.- QUÉ ES EL BIODIESEL

El biodiesel, o éster metílico de ácidos grasos (FAME), queda definido por la ASTM (American Society for Testing and Materials) como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”^[8].

En definitiva, el biodiesel es un biocombustible líquido obtenido a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales como la esterificación o la transesterificación, y que tiene su más amplio campo de aplicación en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

Así, el biodiesel puede utilizarse como combustible en motores diesel puro o mezclado en distintas proporciones con el gasóleo, utilizándose notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje en volumen de biodiesel en la mezcla^[8].

3.3.- PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

El biodiesel se obtiene principalmente a partir de los aceites de plantas oleaginosas (como la colza, el girasol, la palma o la soja), si bien se pueden utilizar igualmente los aceites de fritura usados y las grasas animales. La transesterificación de los ácidos grasos presentes en estas materias primas mediante catálisis alcalina, proporciona una alta conversión de dichos ácidos grasos a ésteres metílicos en un corto intervalo de tiempo ^[9].

La reacción de transesterificación a partir de la cual es posible obtener biodiesel es la siguiente:



Los triglicéridos o ácidos grasos se ponen en contacto con un alcohol en presencia de un catalizador, obteniendo como resultado una mezcla de ésteres metílicos (biodiesel bruto) y glicerina.

Para llevar a cabo esta reacción, se utiliza generalmente entre 0,7-1,0% en peso de catalizador alcalino, siendo los más utilizados NaOH o KOH, y una relación molar de metanol/aceite de 6:1, siendo en ocasiones de 9:1 como exceso para asegurar una alta eficiencia. Después del proceso de transesterificación, llevado a cabo a 60 °C durante una hora, se obtiene una mezcla de ésteres metílicos (biodiesel bruto) y glicerina. La glicerina se elimina de la mezcla resultante por decantación, y el biodiesel bruto se somete a sucesivas etapas de lavado con el objetivo de eliminar impurezas. La mezcla biodiesel bruto - agua se deja decantar entre 12 y 24 horas hasta obtener el biodiesel purificado y se descarta el agua de lavado, que constituye

la principal corriente de agua residual del proceso de producción del biodiesel [10]. El material retirado del biodiesel por medio de los lavados, se compone principalmente de trazas de grasas, aceites, catalizador básico, sales, jabones, trazas de glicerol y metanol; que serán los principales contaminantes presentes en las aguas residuales generadas.

3.3.1.- Descripción del proceso y diagrama de bloques

La transesterificación de triglicéridos con catálisis homogénea alcalina es el método más utilizado para la obtención de biodiesel a escala industrial. En la **Figura 3.2**, se muestra un diagrama de bloques con las etapas básicas del proceso de obtención de biodiesel por éste método.

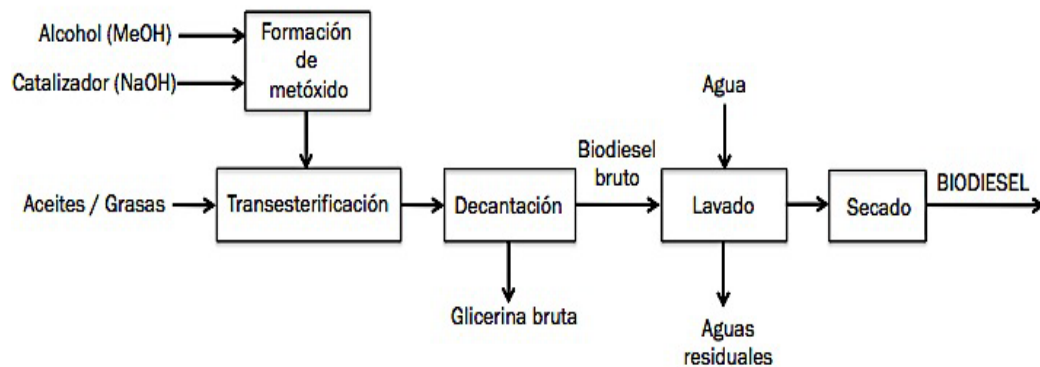


Figura 3.2. Diagrama de bloques del proceso de obtención del biodiesel (catálisis homogénea alcalina).

Además de las etapas descritas en el diagrama de bloques de la **Figura 3.2** (transesterificación, separación de biodiesel y glicerina, y purificación del biodiesel), el proceso puede incluir otras etapas complementarias, como el pretratamiento de la materia prima o la recuperación de metanol y glicerina. Todas estas etapas se describen brevemente a continuación.

3.3.1.1 Pretratamiento

Los aceites crudos contienen impurezas y sedimentos sólidos que deben ser eliminados para evitar la generación de otros productos en la reacción principal que disminuyan el rendimiento y dificulten las etapas posteriores de separación. Para eliminar estas impurezas se somete a la materia prima a una etapa de desgomado seguida de una etapa de neutralización [11].

3.3.1.1.1 Desgomado

Se realiza con el objetivo de eliminar fosfátidos y glicolípidos. Sin la

eliminación de estos compuestos, los triglicéridos se alteran con mayor facilidad y provocan la decantación en tanques de almacenamiento, además de presentar mayor susceptibilidad a la oxidación y a la formación de espumas durante calentamientos posteriores.

El aceite crudo, se somete a una filtración para la eliminación de sólidos y residuos que le acompañan, se calienta y se dosifica en línea ácido fosfórico en solución acuosa. La mezcla se agita intensamente el tiempo necesario para que se produzcan las reacciones de deshidratación de los compuestos no deseados y su precipitación.

3.3.1.1.2 Neutralización

En esta etapa se consigue reducir el contenido de ácidos grasos libres en el aceite por debajo del 0,2% aproximadamente.

Se dosifica a la mezcla procedente del desgomado un agente floculante para aumentar el tamaño de los sólidos precipitados y se enfría a temperatura ambiente. Se bombea una solución de hidróxido sódico y de nuevo se homogeniza la mezcla. Para la eliminación total de jabones y sólidos finos, se realiza un lavado del aceite con agua desmineralizada, recogiendo en un depósito la fase acuosa como efluente y enviándola a la unidad de tratamiento de efluentes.

La fase aceitosa, una vez separada de la acuosa, se somete a un proceso de secado para eliminar los restos de agua y estabilizar el aceite frente a la oxidación para su almacenamiento. En este proceso de secado, los vapores pasan por un condensador refrigerado con agua fría, para recoger los restos de agua y de otros compuestos volátiles enviándolos a la unidad de tratamiento de efluentes.

3.3.1.2 Transesterificación

Se trata de una reacción de equilibrio, a una temperatura de 60°C y presión 1 atm, en la que utilizando una relación molar metanol-aceite de 6:1, por cada mol de aceite transesterificado se obtienen tres moles de éster metílico y uno de glicerina. Suele llevarse a cabo en dos etapas, utilizando dos reactores para conseguir el máximo rendimiento de transformación.

3.3.1.3 Decantación

La mezcla de reacción se envía a un decantador, donde se produce la separación de dos fases por solubilidad: Una fase pesada (rica en glicerina) que contiene glicerina, metanol y catalizador, y una fase ligera (rica en éster metílico) que contiene éster metílico, aceite sin reaccionar, y pequeñas cantidades de metanol, glicerina, jabones, etc.

3.3.1.4 Purificación

3.3.1.4.1 Lavado

La fase ligera de la etapa anterior, se lava con una solución diluida de ácido clorhídrico, para eliminar las impurezas solubles en agua que acompañan a la mezcla de ésteres metílicos, y para evitar la formación de emulsiones al eliminar los jabones existentes.

La operación de lavado se realiza a una temperatura entre 40-50°C, y puede estar constituida por un único lavado o por varios dependiendo del proceso. También dependiendo del proceso, el agua de lavado se envía bien junto con la fase pesada de la primera etapa de reacción (rica en glicerina), para llevar a cabo la recuperación del metanol y la glicerina que contiene, o bien directamente a tratamiento de efluentes (si en el proceso no existen las fases apropiadas para la recuperación de metanol y glicerina).

3.3.1.4.2 Secado

Para evitar la degradación del biodiesel bruto, el agua que arrastra procedente de las etapas de lavado debe ser eliminada, para lo cual se somete a esta fase a un secado. Los gases producidos por la evaporación durante el secado, son recogidos junto con los producidos en anteriores etapas del proceso y se envían a un condensador. El condensado se envía a la planta de tratamiento de efluentes.

Sobre el éster metílico obtenido se dosifican los aditivos correspondientes y después se enfría a temperatura ambiente para ser enviado a los tanques de almacenamiento donde se guardará en atmósfera de nitrógeno.

3.3.1.5 Recuperación metanol y recuperación de glicerina

Las aguas de lavado del metiléster, junto con la fase pesada de la primera etapa de transesterificación (glicerina), contienen una gran cantidad de metanol. Muchas veces se juntan ambas corrientes, de modo que el metóxido sódico se descompone en hidróxido de sodio y metanol en presencia del agua, y la mezcla se neutraliza con ácido clorhídrico diluido y se envía una columna de rectificación donde se recupera el metanol, que se recicla enviándose a la primera etapa de transesterificación.

El contenido del fondo de la columna, será una mezcla acuosa de ácidos grasos y glicerina, de la cual en algunos procesos se recuperará también la glicerina acidificando la mezcla para obtener la precipitación de ácidos grasos, que podrían separarse de la glicerina por decantación.

3.4.- PRODUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL BIODIESEL

A partir de la anterior descripción del proceso de producción del biodiesel pueden identificarse los principales focos de generación de aguas residuales. Estos serán las etapas de pretratamiento y de purificación del biodiesel (lavado).

Puesto que muchos procesos carecen de pretratamiento de la materia prima se considerará que, de modo general, el principal foco de generación de aguas residuales se localiza en la etapa de lavado, tal y como se muestra en la **Figura 3.3**.

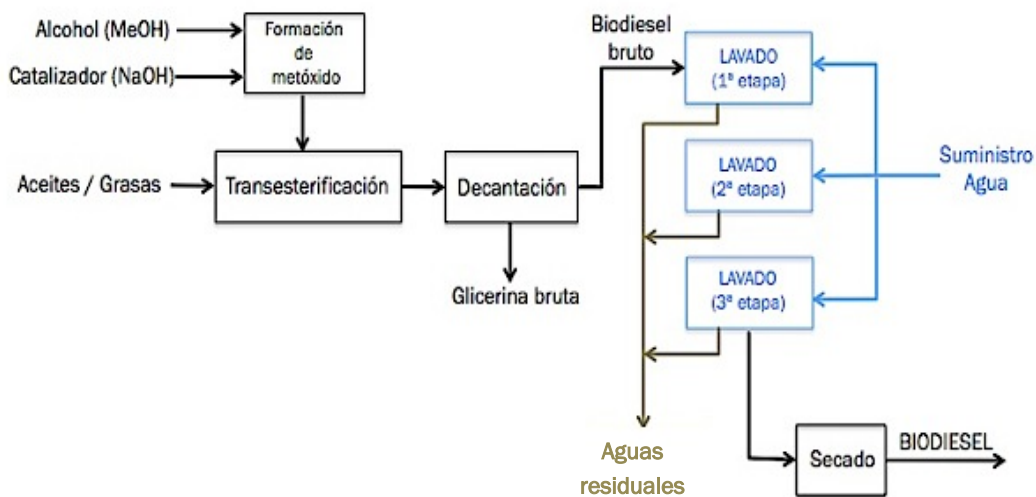


Figura 3.3. Generación de aguas residuales en el proceso de obtención del biodiesel.

En la planta de producción de biodiesel se generarán además aguas residuales procedentes de purgas de la caldera de vapor, purga de las torres de refrigeración, zona de almacenamiento, regeneración y lavado de resinas del sistema de agua desmineralizada, condensados de las etapas de secado de aceite y biodiesel y aguas sanitarias.

Puesto que este tipo de aguas se generan en todo tipo de industria independientemente del sector al que pertenecen, en este estudio se centrará la atención en la depuración de las aguas de lavado del biodiesel, por ser efluentes específicos de este tipo de industria.

3.4.1.- Caracterización del agua residual

Las aguas de lavado del biodiesel se caracterizan por su apariencia de líquido

viscoso con color blanco opaco. Son generalmente alcalinas y contienen un alto contenido de aceite residual, sales solubles (cloruros y sulfatos), trazas de catalizador, jabones e impurezas orgánicas (ácidos grasos libres, metilésteres, acilglicérols, metanol y glicerol). Sin embargo, el contenido en nitrógeno y fósforo de este agua residual es extremadamente bajo ^[12].

Aunque los contaminantes presentes en este tipo de vertidos son bien conocidos, no ocurre lo mismo con las concentraciones de dichos contaminantes en el agua residual. Las concentraciones de los principales contaminantes varían dependiendo del origen de la muestra dentro de rangos de valores muy amplios, lo que dificulta predecir con exactitud unos valores medios de contaminación para este tipo de aguas. Esto se debe a que la carga contaminante depende mucho de la materia prima y del proceso utilizado en la obtención del biodiesel. El volumen de aguas residuales generado variará así mismo según la materia prima y el proceso.

Se mencionan a continuación algunos ejemplos de la influencia que la materia prima y el proceso utilizado en la producción de biodiesel tienen sobre la carga contaminante y el caudal de las aguas residuales generadas.

En cuanto a la carga contaminante, es importante conocer si la reacción de transesterificación se produce en presencia de catalizador ácido o alcalino, puesto que influirá en el carácter ácido o básico del agua residual. Dado que a escala industrial el proceso más utilizado es la transesterificación mediante catálisis homogénea alcalina, se trata por lo general de vertidos alcalinos con baja toxicidad.

Por otra parte, la concentración en metanol de las aguas residuales, dependerá en gran parte del proceso usado en la obtención del biodiesel. Si el proceso incluye una etapa de recuperación de metanol, las concentraciones de este contaminante en el efluente a tratar serán menores que en procesos que carecen de dicha etapa.

Ocurrirá igual con la cantidad de ácidos grasos libres y glicerina. La concentración de estos contaminantes en el agua residual a tratar podrá encontrarse dentro de un amplio rango de valores, dependiendo de si el proceso de obtención de biodiesel incluye una etapa de recuperación de glicerina y ácidos grasos sin reaccionar. La concentración de ácidos grasos libres en el efluente, dependerá también de la cantidad existente en la materia prima y de la eficacia del proceso para transformarlos en metilésteres.

Respecto al caudal total de aguas residuales generadas, tendrá una gran



influencia la existencia o no de una etapa de pretratamiento en el proceso de obtención del biodiesel, puesto que el caudal de agua residual a tratar llega a duplicarse en procesos con pretratamiento frente a aquellos en los que no es necesaria esta etapa [13,14,15].

Con la finalidad de encontrar una composición característica media del agua residual generado por la industria de producción de biodiesel se han recopilado, en base a una exhaustiva revisión bibliográfica, las características de distintas aguas residuales procedentes de industrias de biodiesel. Se centrará la atención en las aguas de lavado, generadas usando el proceso de producción más común a escala industrial: la transesterificación mediante catálisis homogénea básica.

Se aportan en la **Tabla 3.9** las características de diversas aguas residuales procedentes de este tipo de industria.



Tabla 3.9. Características de distintas aguas residuales generadas por industrias de producción de biodiesel utilizando TCA.

	[16]	[17]	[18]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]		[26]
Materia prima	EC,TCA, MeOH, NaOH	EC,TCA, MeOH, NaOH	EC, TCA, AVU y AP	EC, TCA, AP	EC, TCA	EC, TCA, AVU, MeOH	EL, TCA, AP, MeOH, KOH	EL, TCA, AP, MeOH, KOH	EL,TCA, AP, MeOH, KOH	EL,TCA, AP, MeOH, KOH	EC, TCA, AP
pH	10,44	6,7	8,9	10,5	7	10,3	10,1	11,11	11,11	11,21	5,9
Conductividad, $\mu\text{S/cm}$		1119	350				1133	758			43,1
DQO, g/L	16,56	18,36	30,98	105	18	56,4	160	17,75	3,681	40,97	10,85
DBO, g/L				45	11,25		103	7,98	1,6	15,26	
Grasa y Aceite, g/L	0,5		6,02	11	2,5	3,3			0,387	0,46	12
SST, g/L		8,85	0,34		6,5	0,4					0,51
Carbón, g/L							48	6,62	1,7	6,50	
Nitrógeno, g/L						14					
Fósforo total, mg/L											3,45
Metanol, g/L			10,67			40,3	0,25	0,32	0,32	0,23	
Glicerol, g/L			1,36			2,4					

EC= Escala comercial, TCA= Transesterificación mediante catálisis alcalina, MeOH= Metanol, NaOH= Hidróxido de sodio, KOH = Hidróxido de potasio, AVU= Aceite vegetal usado, AP= Aceite de palma, AR= Aceite de ricino. DQO= Demanda química de oxígeno, DBO= Demanda biológica de oxígeno, SST= Sólidos suspendidos totales.

Como puede observarse en la **Tabla 3.9**, según el origen de las aguas de lavado (aún procediendo todas las muestras de procesos utilizando transesterificación alcalina), se obtienen valores muy distintos de concentración en los diferentes parámetros de medida de la contaminación. De este modo, los valores de concentración para la DQO se encuentran en un rango desde 3,68 g/L hasta 160 g/L, para la DBO el rango de concentraciones varía entre 1,6 - 103 g/L, mientras para la concentración de grasas y aceites se obtienen valores entre 0,387 - 12 g/L.

3.4.2.- Tecnologías de tratamiento

La revisión bibliográfica realizada referida a las tecnologías de tratamiento de aguas residuales de la industria de biodiesel, muestra que se ha estudiado la aplicación de tratamientos tanto físicos como químicos, físico-químicos, electroquímicos, procesos de tratamiento biológico o tratamientos basados en combinaciones de los anteriores desde aproximadamente 2005.

Las recientes fechas de las publicaciones existentes sobre la depuración de aguas residuales generadas por la industria del biodiesel, evidencian que el tratamiento de este tipo de aguas residuales es una nueva área de investigación que está comenzando a desarrollarse.

A continuación, se presenta un resumen de los estudios previos publicados sobre el tratamiento de aguas residuales procedentes de procesos de producción de biodiesel por transesterificación catalizada por álcali.

Suehara et al. ^[12], presentaron en 2005 una publicación en la que se detalla un tratamiento biológico, el cual requirió de un ajuste de pH y adición de fuentes de fósforo, azufre y nitrógeno para contrarrestar el efecto inhibitor sobre el crecimiento de los microorganismos que poseen dichas aguas.

De Boni et al. ^[16] (2007) y Goldani et al. ^[27] (2008) estudiaron varios métodos para tratar las aguas residuales de lavado del biodiesel. En concreto de biodiesel obtenido a partir de aceite de soja por transesterificación catalizada con NaOH y utilizando como alcohol metanol. Entre los métodos estudiados se incluyen la neutralización del pH con solución de ácido acético y lavado con agua caliente con posterior filtración bien a través de grava y arena, con filtración a través de grava, arena y una membrana entre las capas y sin filtración; seguido de coagulación-floculación utilizando sulfato ferroso o sulfato de aluminio.

En 2009, Srirangsan y Chavalparit ^[18] alcanzaron un porcentaje de eliminación de DQO del 53% para un volumen de 1L como resultado de un tratamiento de electrocoagulación usando ánodo de aluminio y cátodo de grafito, con densidad de corriente de 7.97-8.32 mA cm⁻², 20-25 minutos y un valor de pH=6.

En varias publicaciones hasta la fecha (2007-2011) ^[16,21,27,28,29], se utiliza la acidificación como etapa de pretratamiento para este tipo de aguas. Este pretratamiento se traduce en un ajuste de pH por adición de un ácido con el objetivo de desestabilizar y destruir la emulsión que las aguas forman con los aceites y grasas, de modo que puedan separarse las impurezas aceitosas. Mediante acidificación se rompen también los jabones en una sal y un ácido graso libre.

Según Kumjadpai et al. ^[21] al añadir un ácido a las aguas de lavado de biodiesel, se separan automáticamente dos capas, una capa superior rica en metilésteres y la capa inferior o capa acuosa residual. Kumjadpai et al. ^[21] usaron un proceso en dos etapas para la depuración de un agua residual procedente de un proceso convencional de obtención de biodiesel a partir de aceites usados. El agua se recogía de la unidad de lavado después de recuperarse el glicerol y el metanol y era alcalina. La primera etapa del tratamiento consistía en una acidificación del agua residual por adición de sulfúrico, nítrico, o clorhídrico concentrados. Se consiguió recuperar biodiesel crudo del agua residual. La mayor parte de la capa de metilésteres se recuperó en estas experiencias a pH entre 1,0 y 2,5 durante los primeros 7 minutos desde la adición de cualquiera de los tres ácidos usados. Las eficiencias de recuperación de metilésteres, en mL de metiléster por L de agua residual fueron de 25-30, 15-17 y 19-21 empleando los ácidos sulfúrico nítrico y clorhídrico respectivamente. En la segunda etapa del tratamiento, se trataba el agua residual anterior con coagulación- floculación usando sulfato de aluminio o cloruro de polialuminio. Antes de la coagulación, se ajustó el pH del agua residual al rango adecuado para el coagulante añadiendo óxido de calcio. En el caso del sulfato de aluminio el rango adecuado de pH se encuentra entre 4,5 y 10, mientras que para el cloruro de polialuminio se tiene rango desde 2,5 a 7.

Sawain et al. ^[28,29] (2009 y 2010) estudiaron la desestabilización y demulsificación de las aguas residuales procedentes de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma, ajustando el pH y usando sales de aluminio (sulfato de aluminio y cloruro de polialuminio), cloruro férrico y polímero catiónico como coagulantes. El ajuste de pH tuvo influencia sobre la

emulsión, y las grasas y aceites y los jabones se separaron fácilmente del agua a pH=3.

En el tratamiento biológico de las aguas residuales del biodiesel, pueden utilizarse tanto procesos aerobios como anaerobios dependiendo del valor de la DQO de las aguas residuales de entrada. El proceso anaerobio ha sido utilizado en casos en que los valores de DQO eran elevados (superiores a 100.000 mg/L) [22,30,31], mientras que los procesos aerobios se aplicaron para el valores de DQO inferiores a 100.000 mg/L [26]. En todos los casos, las aguas de lavado primero se acidifican para eliminar el aceite residual, ácidos grasos libres y ésteres. En algunos casos, el efluente de aguas residuales se trató adicionalmente antes del proceso biológico, por electrocoagulación/flotación [30,31], coagulación/sedimentación [22], o coagulación/floculación [31]. También se ha estudiado el comportamiento del proceso de foto-Fentón acoplado a un proceso aerobio SBR [25].

Siles et al. (2010) [30] realizó la codigestión de las aguas residuales generadas por la producción de biodiesel a partir del aceite residual de cocina. El agua residual se acidificó con ácido sulfúrico (pH final inferior a 4) y se centrifugó para separar la fase de aceites/biodiesel. La fase acuosa se neutralizó con hidróxido de sodio y se sometió a electrocoagulación/flotación para reducir el contenido en aceite.

Phukingngam et al. (2011) [22] trataron las aguas residuales generadas a partir de una planta comercial para la producción de biodiesel a pequeña escala usando la combinación de un pretratamiento físico-químico y un reactor anaeróbico ABR. Debido al alto contenido en grasas y aceites, el agua residual biodiesel se trató previamente con acidificación, coagulación química y sedimentación. El tratamiento biológico se aplicó posteriormente con el fin de aumentar la eficacia del proceso global.

Ramírez et al. (2012) [25] probaron un sistema acoplado de foto-Fentón y reactor discontinuo secuencial anaerobio para tratar un agua residual biodiesel derivada de un proceso de transesterificación catalizada por álcali en el que se utilizaron aceites de palma o de ricino.

De Gisi et al. (2013) [26] realizaron un tratamiento a gran escala de las aguas residuales derivadas de una planta de producción de biodiesel con transesterificación catalizada por álcali. Se incluyeron varias etapas combinadas, algunas de tratamiento primario (neutralización, adsorción, coagulación-floculación y sedimentación), tratamiento biológicos (filtro



percolador combinado con lodos activos), y procesos de ósmosis inversa.

Pitakpoolsil y Hunsom ^[32] estudiaron recientemente (2013), la adsorción como método para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales generadas en una planta de producción de biodiesel a escala de laboratorio que procesaba aceite vegetal usado. Sin embargo, la coagulación-floculación precedida de un ajuste de pH es el proceso más estudiado dentro de los tratamientos físico-químicos de las aguas de lavado del biodiesel. Las sales de aluminio y las sales de hierro son frecuentemente usadas como coagulantes. Una secuencia de operaciones común en el tratamiento de este tipo de aguas consiste en realizar un ajuste de pH, coagulación-floculación, seguida de sedimentación o flotación^[33].

Los principales resultados obtenidos en los anteriores estudios consultados, pueden consultarse en la **Tabla 3.10**, que resume la revisión bibliográfica realizada indicando el tipo de tratamiento, el origen del agua residual y la eficiencia de eliminación para distintos parámetros como DQO, DBO, SST o grasas y aceites.



Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel.

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %						Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	DBO	G&A	SST	MeOH	Glic	
<i>Físico-químico</i>									
Neutralización	AR (EC,TCA,MeOH, NaOH)	DQO: 16,564 G&A: 0,5	26		10				[16,41]
Neutralización + filtración a través de arena y grava			38		20				
Neutralización + filtración a través de arena, grava y membrana			41		20				
Coagulación con sulfato ferroso			63		100				
Coagulación con sulfato de aluminio			69		100				
<i>Físico-químico</i>									
Acidificación (ácido sulfúrico, pH 3)	AR (EC,TCA,AP)	DQO: 60-150 G&A: 7 -15 TSS 1,5 - 5			95				[28,29]
Coagulación (FeCl ₃ ; 0,5 mg/L; pH 5)			60		97	97			
Coagulación (cloruro de polialuminio)			70		99	97			
<i>Físico-químico</i>									
Acidificación pH 6 + coagulación (Sulfato de aluminio, 2g/L)	AR (EC,TCA,MeOH, AVU)	DQO: 542 DBO: 225 G&A: 21,1 SST: 30,5	98,8	98,7	99,5	45,6			[21]
Acidificación pH 4 + coagulación (cloruro de polialuminio, 1g/L)			98	98	99,1	56,5			
<i>Físico-químico</i>									
Acidificación + coagulación con flotación por aire	AR (EC,TCA,AP)	DQO: 60-150 G&A: 7-15 SST 1,5-5	80-90	80-90	98-99,6	98-100			[20]

Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel (Continuación).

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %						Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	DBO	G&A	SST	MeOH	Glic	
<i>Electroquímico</i>	AR (EC,TCA, AVU y AP)	DQO: 30,98 G&A: 6,02 SST:0,34 MeOH: 10,7 Glicerol: 1,36	55,4		97,8	97	16,9	3,5	[18]
Electrocoagulación (electrodos de grafito y aluminio, pH 6, 20V, 25 min)									
<i>Electroquímico</i>	AR (EC,TCA, AVU y AP)	DQO: 30,98 G&A: 6,02 SST:0,34	55		97,5	97			[35]
Electrocoagulación (electrodos de aluminio y grafito, pH 6,06; 18,2 V; 23,54 min)									
<i>Electroquímico</i>	AR (EL,TCA,AA)	G&A: 9,5 SST: 6,5			97,9-99,8	57,5-88			[36]
Electrocoagulación-flotación (electrodos de aluminio, pH 2,5-7,9; 3,5-4,8 V; 20-60 min)									
<i>Ambos: Químico y electroquímico</i>	AR (EC)	DQO: 22,5 G&A: 6,412	47,6		83				[37]
Electrocoagulación (electrodos de acero)									
Electrocoagulación + cloruro de polialuminio (0,5 g/L)									
Electrocoagulación + peróxido de hidrógeno (2%)									
Electrocoagulación + cloruro de polialuminio (0,5 g/L) + peróxido de hidrógeno (2%)			70		94				
			81,2		99,7				
			94,1		100				

Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel (Continuación).

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %						Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	DBO	G&A	SST	MeOH	Glic	
<i>Ambos: Químico y electroquímico</i>									
Acidificación (ácido sulfúrico pH 2-6)	AR (EC; AVU)	DQO: 312 DBO:168 G&A: 18	40-74	13-24	87-98				[19]
Acidificación (ácido sulfúrico) + electrooxidación (electrodos de TiRuO ₂ ; 0,061 M NaCl)			100	95	100				
<i>Ambos: Químico y electroquímico</i>									
Acidificación (ácido sulfúrico)	AR (EC; AV)	DQO: 312 DBO:168 G&A: 18	38,9	76,3	99,4				[38]
Acidificación (ácido sulfúrico) + coagulación (Sulfato de aluminio, 2g/L, pH 6)			97,5	98,6	98,9				
Acidificación (ácido sulfúrico) + Electrocoagulación (electrodos de acero, pH 7,4; 12,42 A; 4 h)			99,6	91,5	98,7				
<i>Oxidación avanzada</i>									
Electrooxidación (electrodos de diamante y zirconio; 0,04 A; NaCl, 2.5 g/L)	AR (EL, TCA, MeOH, KOH,AP)	DQO: 6,62	9				27,5		[24]
Ozonización (ozono 0,34 g/L; pH 12)			5				14,4		

Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel (Continuación).

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %						Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	DBO	G&A	SST	MeOH	Glic	
<i>Oxidación avanzada</i>									
Catálisis heterogénea TiO ₂ degussa P25 inmovilizado en sílica; H ₂ O ₂ 1 mL/L; caudal 0,68 mL/min, alto pH)	AR*= AR (EL,TCA, MeOH, KOH,AP)	DQO: 160	3				15,3		[23]
Foto fentón (sulfato ferroso 0,3 mM; peróxido de hidrógeno; 35 mM)	AR* 5 veces diluida		80				99,5		
Foto fentón (sulfato ferroso 0,3 mM; peróxido de hidrógeno; 35 mM)	AR* sin diluir		7				23,8		
<i>Biológico</i>									
Rhodotorula mucilaginosa (pH 6,8; Urea C/N ratio, 17-68; extracto de levadura, 1g/L)	AR (Diluida 1:1, EC,TCA, KOH, AVU)	G&A: 15,1			98				[12]
<i>Químico y biológico</i>									
Pretratamiento: Acidificación (ácido sulfúrico; pH 4) + coagulación (cloruro de polialuminio, 62,5 mg/L; catión polímero, 1,25 mg/L)	AR (CS, ACT, MeOH, ACU)	DQO: 56,4 G&A: 3,27 MeOH: 40,3 Glicerol: 2,4	22		96	84	12	6	[22]
Biometanización (ABR;1,5 g/m ³ d COD)			99			84	100	100	



Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel (Continuación).

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %	Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	
<i>Químico/electroquímico y biológico</i>				
Pretratamiento:				
(p1) Acidificación (ácido sulfúrico; pH 4) + coagulación/floculación (cloruro de polialuminio, 18%, 0,2 mL/L; Actipol A-401, 1 g/L)	AR (EC, TCA, MeOH, ACU)	DQO: 428	63	[31]
(p2) Acidificación (ácido sulfúrico; pH 4) + Electrocoagulación (electrodos de aluminio; 12 V; 1,5 A; 30 min)			45	
Biometanización (ASR; lodo granular)	(p1) AR Pretratada con coagulación/floculación		84	
	(p2) AR Pretratada con electrocoagulación		98	
<i>Sedimentación química primaria + biológico + Sedimentación química secundaria + ósmosis inversa</i>				
Coagulación floculación (Polfloc M92, cloruro de polialuminio, polímero aniónico, pH 7-8)	AR con baja carga (B) y con alta carga (A)	DQO: 10,85 (B) 43,90 (A)	28,6 (B)	[26]
			16,3 (A)	
Coagulación floculación + filtro percolador			62,9 (B)	
			79,4 (A)	
Coagulación floculación + fangos activos			67,5 (B)	
	74,7 (A)			
Coagulación floculación + filtro percolador+ 2° coag/floc.+ fangos activos			92,1 (B)	
			94,3 (A)	
Coagulación floculación + fangos activos +2° coag/floc.+ósmosis inversa			92,8	



Tabla 3.10. Estudios previos realizados sobre tratamientos de aguas residuales generadas en la producción de biodiesel (Continuación).

Tipo de tratamiento	AR		Eficiencia eliminación, %						Ref.
	Origen	Parámetros	DQO	DBO	G&A	SST	MeOH	Glic	
<i>Foto fentón y biológico</i>									
Foto-fentón (pH 2,6; sulfato ferroso 0,3 mM; peróxido de hidrógeno 35 mM)	AR1 (EL,TCA, MeOH, KOH, AP)	DQO: 3,68	23	34	59		24		[25]
Fangos activos (ASBR)		DBO: 1,6							
Ambos Foto-fentón + ASBR		G&A: 0,39 MeOH: 0,315							
Foto-fentón (pH 2,6; sulfato ferroso 0,3 mM; peróxido de hidrógeno 35 mM)	AR2 (EL,TCA, MeOH, KOH, AR)	DQO: 40,98	29	28	42		29		
Fangos activos (ASBR)		DBO: 15,26							
Ambos Foto-fentón + ASBR		G&A: 0,46 MeOH: 0,225							
			90	-					
			90	90					
			-	-					
			76	69					



4. OBJETIVOS Y ALCANCE

4.1.- OBJETIVO GLOBAL

El objeto del proyecto es realizar el dimensionado básico de la línea de aguas de una planta de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de producción de biodiesel. La capacidad de tratamiento de la instalación será de 60 m³/h. Con este trabajo se pretenden aportar soluciones de tratamiento eficaces para solventar la problemática medioambiental que supone el vertido de las aguas residuales generadas en el proceso productivo de este tipo de industria.

4.2.- OBJETIVOS PARCIALES

1. Caracterizar las aguas residuales objeto de tratamiento: para ello se debe conocer el proceso de producción del biodiesel e identificar los principales focos de generación de aguas residuales, establecer su caudal y fijar unos valores medios para los principales parámetros de medida de la contaminación en aguas: concentración media en materia orgánica (DQO y DBO), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas.
2. Analizar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales disponibles (operaciones unitarias y equipos) y seleccionar las alternativas más adecuadas para el caso de estudio en función del caudal a tratar y la composición del agua residual seleccionada.
3. Dimensionar la planta de tratamiento centrandó la atención en la línea de tratamiento de aguas: realizar el diagrama de bloques y el diagrama de flujo, balances de materia y un dimensionado básico de los equipos.
4. Realizar una valoración económica, incluyendo una estimación de la inversión inicial en obra y equipos y una evaluación de los costes de mantenimiento y explotación de la planta durante un año.
5. Evaluar los aspectos de seguridad, los posibles riesgos y medidas de seguridad preventivas y correctivas.
6. Valorar el impacto ambiental, numerando los principales impactos positivos y negativos generados durante el proceso de tratamiento.

4.3.- ALCANCE

Este proyecto centrará la atención en el dimensionado de la línea de tratamiento de aguas, no siendo objeto de este trabajo el tratamiento de los residuos generados (líneas de fangos y gases) durante el proceso de depuración.



5. BASES DE DISEÑO



5.1.- LOCALIZACIÓN

A Septiembre de 2014, Andalucía cuenta con once plantas de biocarburantes (puros y aditivos) operativas y que suman una capacidad de producción de 1.281,81 ktep/año ^[5], de las cuales siete son de biodiesel, dos son de ETBE - EtilTerButil-Éter y dos de HVO – Hidrobiodiesel; circunstancia que hace que Andalucía lidere en España la capacidad instalada de producción de biocarburantes. En la provincia de Huelva hay dos plantas de biodiesel que suman una capacidad de producción de 666 ktep, una de ETBE de 9,9 ktep y una de HVO (hidrobiodiesel) de 36,9 ktep. Entre todas las plantas suman una capacidad de producción total de 712,8 ktep/año, lo cual representa el 55,6 % de la capacidad instalada en Andalucía ^[7], siendo la provincia andaluza con mayor capacidad de producción.

Andalucía es la comunidad autónoma española con cuotas de asignación para la producción de biodiesel más elevada actualmente, copando la provincia de Huelva el 67,5% ^[7] de la capacidad de producción de biodiesel de la comunidad. Por este motivo se decide ubicar la planta de tratamiento de aguas residuales objeto de este estudio en la provincia de Huelva, por ser la región dónde más presente está el sector del biodiesel en España, y dónde se puede localizar una mayor necesidad del servicio de depuración propuesto en los próximos años, en vista a las cuotas de producción asignadas.

5.2.- CAUDAL

Los caudales residuales a tratar varían dependiendo de la capacidad de producción de la planta de biodiesel a la que se asocia el tratamiento de aguas residuales.

La capacidad de producción de las plantas actualmente construidas en Andalucía, con cuota de producción recientemente asignada, pueden observarse en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1. Cuotas de producción de biodiesel asignadas en la CCAA de Andalucía.
FUENTE: Adaptado de BOE núm. 30, de 4 de febrero de 2014, páginas 8419 a 8426.

PLANTA	ASIGNACIÓN (t/año)	LUGAR
BIOOILS	500000	Palos de la frontera (Huelva)
BIOSUR	240000	Palos de la frontera (Huelva)
LINARES BIODIESEL TECHNOLOGY	100000	Linares (Jaén)
ABENGOA BIOENERGÍA SAN ROQUE	200000	San Roque (Cádiz)
ALBABIO	9000	Níjar (Almería)

Considerando 200.000 t biodiesel/año un valor intermedio de capacidad de producción entre los registrados para plantas ya existentes en la región, parece razonable plantear una instalación de tratamiento de aguas residuales con capacidad de tratamiento para depurar las aguas residuales generadas por una planta con dicha capacidad de producción anual.

Dependiendo de la materia prima y del proceso utilizados en la obtención del biodiesel, las referencias consultadas apuntan que por cada 100L de biodiesel producido se generan 20L ^[12], 20-120L ^[18] y 300L de aguas residuales ^[16]. Otras referencias estiman las aguas residuales generadas como el 10% ^[57] y el 47.5% ^[58] en volumen del biodiesel producido. Podría por tanto decirse que la producción de 100 m³ de biodiesel genera en las etapas de lavado entre 10 – 300 m³ de aguas residuales a tratar.

Tomando un valor intermedio entre los anteriores, con 180 m³ agua residual generada por cada 100 m³ de biodiesel producido, la instalación a dimensionar deberá tener una capacidad de tratamiento de 402000 m³/año, lo que supone para una planta de tratamiento de aguas residuales que opere 24 h/día y 335 días/año, un caudal medio de aproximadamente 50 m³/h. Aplicando un 20% como factor de seguridad, el caudal de diseño será de 60 m³/h.

5.3.- CARACTERIZACIÓN DEL VERTIDO

A partir de lo expuesto en el apartado 3.4.1. *Caracterización del agua residual*, con la finalidad de encontrar una composición característica media del agua residual generada en la industria de producción de biodiesel, se



realiza un promedio de los valores encontrados para los parámetros pH, DQO, DBO, Grasas y aceites y SST. Para realizar el promedio, se desestiman las referencias de la **Tabla 3.9** que presentan los valores extremos de estos parámetros.

Se obtiene así un influente de partida para la planta de tratamiento a dimensionar con pH=9,3, DQO= 27400 mg/L, DBO=11500 mg/L, Grasas y aceites = 4100 mg/L y SST=1900 mg/L, tal como muestra la **Tabla 5.2**.



Tabla 5.2. Características medias de un agua residual generada por la industria de producción de biodiesel utilizando TCA.

PARÁMETRO	De Boni et al. (2007)	Srirangsan et al. (2009)	Phukingngam et al. (2011)	Patiño et al. (2012)	Ramírez et al. (2012)	Salcedo Serra (2006)	PROMEDIO
Materia prima	EC,TCA, NaOH	EC, TCA, AVU y AP	EC, TCA, AVU	EL, TCA, AP, KOH	EL,TCA, AP, MeOH, KOH	EC, TCA	-
pH	10,44	8,9	10,3	11,11	11,21	7	9,3
DQO, g/L	16,56	30,98	56,4	17,75	40,97	18	27,4
DBO, g/L	-	-	-	7,98	15,26	11,25	11,5
G&A, g/L	0,5	6,02	3,3	-	0,46	2,5	4,1
SST, g/L	-	0,34	0,4	-	-	6,5	1,9

Dónde:

- DQO= Demanda Química de Oxígeno
- DBO= Demanda Biológica de Oxígeno
- G&A=Grasas y aceites
- SST= Sólidos suspendidos totales
- EC = Escala comercial
- EL = Escala laboratorio
- TCA = Transesterificación catalítica alcalina
- AVU = Aceite vegetal usado
- AP = Aceite de palma
- KOH = Catalizador potasa
- NaOH = Catalizador sosa

En la **Tabla 5.3.** se resumen las características del efluente a tratar.

Tabla 5.3. Características físico-químicas del agua residual y carga contaminante.

PARÁMETRO	Valor	Carga contaminante
pH	9,3	-
DQO	27400 mg/L	1644 kg/h
DBO	11500 mg/L	690 kg/h
SST	1900 mg/L	114 kg/h
Grasas y aceites	4100 mg/L	246 kg/h

5.4.- LÍMITES DE VERTIDO (VLE)

Los tratamientos a los que se someterá el agua residual deben garantizar la eliminación de la carga contaminante en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente.

Según se recoge en el documento BREF identificado como “Sistemas convencionales de tratamiento y gestión de aguas residuales y emisiones gaseosas en el sector químico” los valores límite de emisión (VLE) establecidos para el sector industrial objeto de este trabajo, son los listados a continuación, y serán utilizados como referencia en el dimensionado de la planta.

Tabla 5.4. Límites de vertido ^[49].

VALORES LIMITE DE EMISIÓN (VLE)	
Instalaciones de eliminación de hidrocarburos ⁽¹⁾	
PARÁMETRO	VALOR
DBO ₅	2-20 mg/L
DQO	30-125 mg/L
Total hidrocarburos	0,05-1,5 mg/L
Metales pesados ⁽²⁾	
Sales ⁽²⁾	
Instalaciones de tratamiento biológico ⁽³⁾	
PARÁMETRO	VALOR
SST	10-20 mg/L
DBO ₅	<20 mg/L
DQO	30-250 mg/L ⁽⁴⁾
NT inorg.	5-25 mg/L
PT	0,5-1,5 mg/L
AOX	⁽⁵⁾

- | |
|---|
| (1) Medias diarias
(2) No establece valores
(3) Medias diarias excepto en SST, que es media mensual
(4) Porcentaje de reducción 76-96%
(5) No adjunta valor |
|---|

5.5.- RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

La planta de tratamiento de aguas tendrá un régimen de funcionamiento de 24h/día y 335 días/año, estimando los tiempos de parada de la planta de producción en 30 días, incluyendo mantenimiento y cierre durante los períodos vacacionales, lo cual supone un total aproximado de 8000 h/año de funcionamiento.

5.6.- DESCRIPCIÓN DEL CLIMA DE HUELVA

La temperatura es un factor clave que afecta sobre todo a los procesos biológicos de la depuración. Entre los muchos efectos, un aumento de la temperatura influye en la velocidad de la reacción biológica. Esto, sumado a que el O₂ es menos soluble en agua caliente puede provocar el agotamiento de O₂ disuelto durante los periodos más calurosos del año, y puede colaborar también con la proliferación indeseable de algunas algas y hongos.

La temperatura óptima de trabajo de las bacterias en los procesos biológicos está entre 25 y 35°C, siendo 50°C la temperatura en que procesos como la respiración aeróbica se detienen.

Para analizar el clima de Huelva hay que partir de su situación. Ésta se encuentra entre los 37° 15" de latitud y los 6° 57" Oeste de longitud. Orientada en general al mediodía, zona de máxima exposición solar. Cuenta con 3.000 horas de sol al año aproximadamente, lo que equivale a afirmar que en esta ciudad se goza de 300 días despejados anualmente.

Por lo general cuenta con un invierno poco frío, suave, donde apenas se baja de los 5°, y un verano caluroso, cuyos meses más cálidos son julio y agosto cuando se puede superar ocasionalmente los 40°. Estas características definen un clima mediterráneo oceánico o con influencias atlánticas ^[59].

En cuanto a las precipitaciones, se encuentran alrededor de los 500 mm anuales (en la zona montañosa del interior pueden aumentar hasta los 1.000 mm anuales) ^[59]. El máximo pluviométrico se encuentra a finales de otoño-invierno, mientras que durante la estación estival escasean las lluvias, a penas se registra precipitación.



Teniendo en cuenta la información recogida por Aemet ^[60] en cuanto a temperaturas en la provincia de Huelva (siendo los datos disponibles los recogidos para el período 1981-2010 y año 2012), se podrá dimensionar la línea de tratamiento teniendo en cuenta una temperatura media de $T=18^{\circ}\text{C}$.



6. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En primer lugar se realizará una descripción de los procesos físicos, químicos, físico-químicos y biológicos de tratamiento de aguas residuales para después seleccionar, en base a las características del agua residual de estudio y las ventajas y limitaciones de las tecnologías de tratamiento disponibles, la secuencia y equipos concretos que se emplearán en el tratamiento del agua residual del presente proyecto.

6.1.- TRATAMIENTOS FÍSICOS

6.1.1.- DESBASTE

La entrada de sólidos de gran tamaño en las instalaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales, puede ocasionar problemas de distinta índole en su funcionamiento (obstrucción de colectores, canales o tuberías, daños en los equipos de bombeo, bloqueo de mecanismos en movimiento, sistemas de purga etc).

La importancia de la eliminación de estos sólidos desde el inicio es evidente, y por ello el desbaste es la primera operación que tiene lugar en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El desbaste ^[64] es un proceso de naturaleza física que consiste en interponer un medio material en la dirección de flujo del agua a tratar. El tamaño característico del material se denomina luz, e indica el tamaño máximo de las partículas que podrán atravesar el sistema de desbaste.

Los equipos utilizados para retener los sólidos presentes en el agua residual, pueden ser rejas o tamices. Los formados por barras paralelas entre sí reciben el nombre de rejas, mientras que el término tamiz se circunscribe al uso de placas perforadas y mallas metálicas de sección cuneiforme.

Generalmente las rejas tienen aberturas superiores a 1,5 cm ^[43], mientras los tamices cuentan con orificios de diámetro inferior a este valor.

Según el método de limpieza que se emplee, tanto rejas como tamices pueden ser de limpieza manual o automática.

6.1.1.1.- Rejas

Las rejas consisten en un conjunto de barras metálicas de sección regular, con 6 o más mm de espesor, paralelas y espaciadas de 1,5 a 10 cm ^[44]. Las

barras de la reja se fijan en un marco con el fin de rigidizar el sistema. El conjunto se coloca en el canal de entrada del agua residual, en posición transversal al flujo, de forma que los sólidos de tamaño superior a la separación entre barrotes quedan retenidos.

Para pequeñas alturas de la corriente de agua se emplean rejillas curvas y para alturas mayores rejillas longitudinales dispuestas casi verticalmente ^[61].

El sistema de limpieza de rejillas suele ser un peine o rasqueta que al desplazarse en la dirección del eje principal de las rejillas, arrastra los sólidos retenidos, depositándolos en un contenedor o en un compactador de residuos.

El accionamiento de los sistemas de limpieza puede ser manual o automático (**Figura 6.1**).

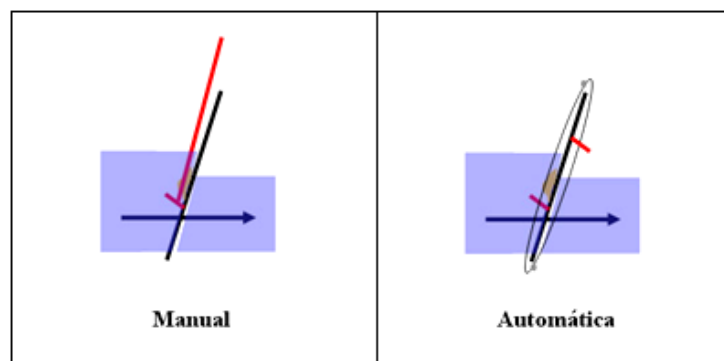


Figura 6.1. Sistemas de limpieza de rejillas.

Los sistemas de limpieza manual de rejillas (**Figura 6.2**) suelen utilizarse sólo en los casos en que el volumen de sólidos retenidos sea bajo y los costes de mano de obra para la manipulación del sistema de limpieza sean asumibles. Las rejillas de limpieza manual suelen presentar una inclinación con respecto a la horizontal de 45° a 70° ^[43], recogiendo los residuos en un contenedor de residuos sólidos.

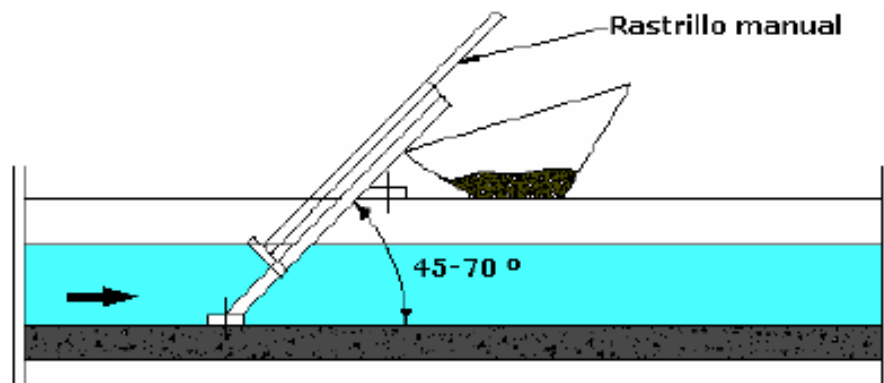


Figura 6.2. Esquema de un sistema de rejillas manual.

Los sistemas de limpieza automática de rejillas pueden estar accionados de manera mecánica o neumática. Entre los diferentes sistemas de rejillas con limpieza automática ^[61] existen las que utilizan peines accionados por cadena tractora, empleados en sistemas de rejillas rectas verticales o inclinadas y los de peines accionados por un eje de rotación, empleados en rejillas curvas.

El automatismo de funcionamiento puede ser mediante un temporizador (a intervalos de tiempo prefijados) o mediante sensores de nivel, entrando en funcionamiento cuando se alcanza un cierto grado de pérdida de carga.

Las rejillas de limpieza automática, suelen presentar inclinaciones de 0 a 30° con la vertical ^[43].

Los sistemas de rejillas en general, aunque sobre todo los de limpieza automática, deben estar dotados de un sistema auxiliar, que se utilice en caso de avería del sistema principal (**Figura 6.3**).

Este sistema auxiliar de rejillas consta generalmente de un aliviadero lateral que conecta con un canal de by-pass y un sistema auxiliar de rejillas de limpieza manual, de manera que cuando el nivel del agua en el canal principal aumenta por encima del nivel máximo de diseño (por atascamientos en la rejilla principal, fuertes avenidas, etc.) el agua en exceso se canaliza hacia el equipo auxiliar para su pretratamiento.

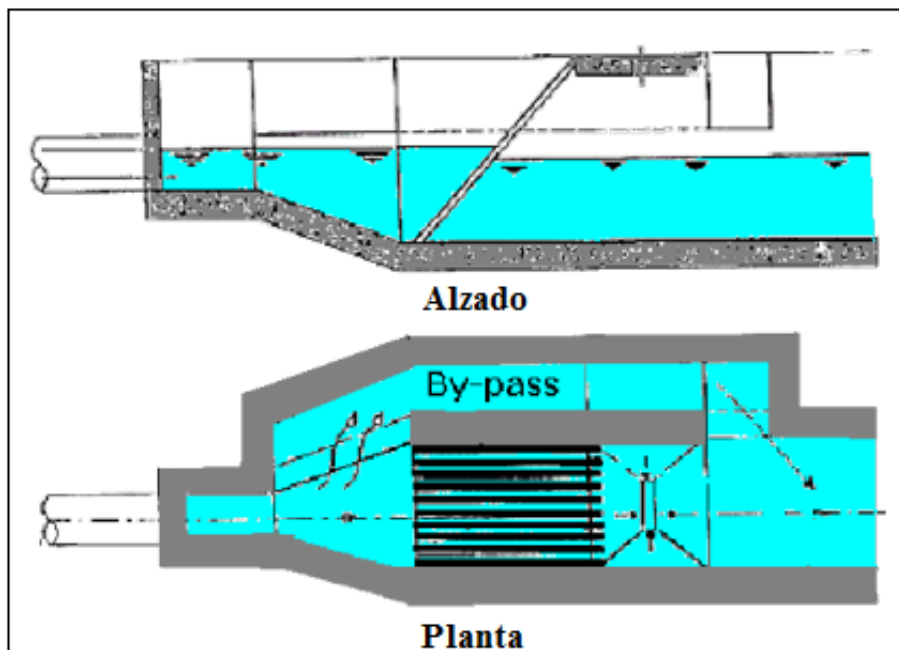


Figura 6.3. Esquema en planta de un sistema de rejillas y del canal de by-pass asociado al mismo.

Los principales datos de diseño de ambos tipos de rejillas se resumen en la **Tabla 6.1.**

Tabla 6.1. Información típica para el proyecto de rejillas de barras de limpieza manual y mecánica ^[43].

CARACTERÍSTICA	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Tamaño de la barra		
Anchura, mm	5 - 15	5 - 15
Profundidad, mm	25 - 37,5	25 - 37,5
Separación entre barras, mm	25 - 50	15 - 75
Pendiente en relación a la vertical, °	30 - 45	0 - 30
Velocidad de aproximación, m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 0,11
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

6.1.1.2.- Tamices

El tamizado es imprescindible cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión o flotantes. Los tamices, al igual que los sistemas de rejillas, son equipos empleados para la eliminación de sólidos. En este caso las discontinuidades en lugar de ser longitudinales

(abertura de las rejjas), suelen ser perforaciones efectuadas sobre una plancha (**Figura 6.4 a, b y c**) o mallas trenzadas (**Figura 6.4 d y e**) con tamaños de luz inferiores a 1,5 cm (generalmente entre 0,15 y 0,60 cm).

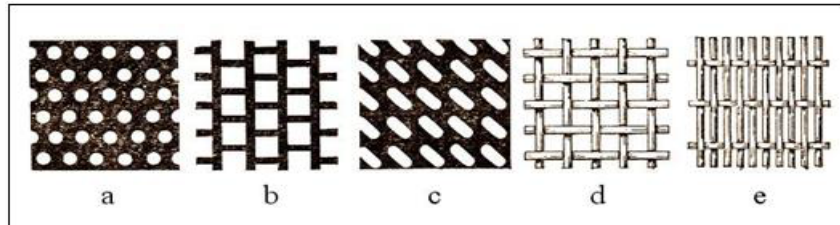


Figura 6.4. Tipos de perforaciones más comunes en tamices.

Los tamices pueden clasificarse como **estáticos**, **rotativos** y **de superficie móvil**.

Los **tamices estáticos** (**Figura 6.5**) consisten generalmente en una lámina recta perforada o una malla tejida con una inclinación superior a 70° respecto a la horizontal, aunque existen diseños en los que la lámina no es recta sino con cierta curvatura. La alimentación se efectúa por la zona superior, mientras que el desagüe tiene lugar por la zona inferior de la cara opuesta del tamiz. De esta forma el desplazamiento del agua de alimentación favorece el arrastre de los sólidos retenidos en el tamiz y su eliminación por la zona inferior del mismo.

La luz de paso de la malla de estos equipos se encuentra entre 0,5 – 2,0 mm y la anchura de su superficie filtrante varía desde 0,3 hasta 1,8 mm, con una capacidad de tratamiento de entre 400 -1200 L/m².min ^[44] dependiendo de la luz y del tipo de sólido a eliminar.

La superficie de los tamices suele recubrirse de grasa con el funcionamiento, haciendo necesaria su limpieza periódica, que se lleva a cabo bien mediante medios mecánicos o con agua caliente a presión.

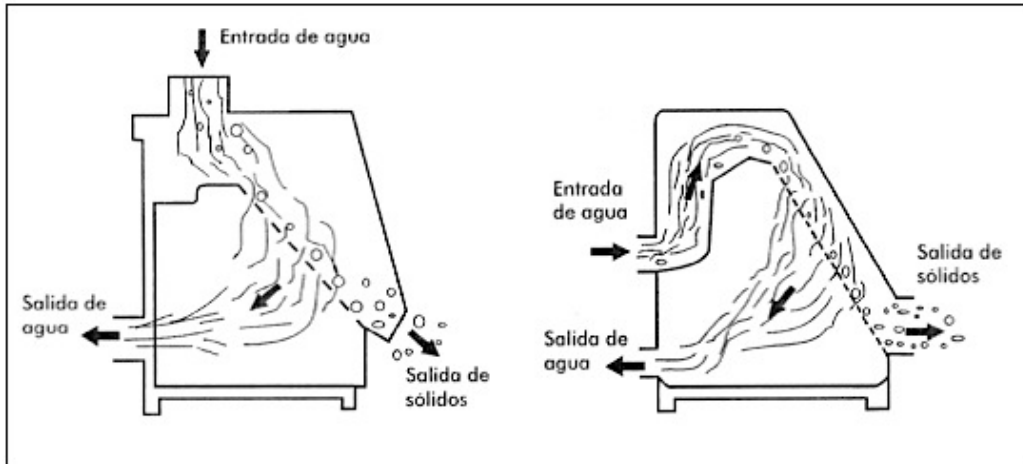


Figura 6.5. Esquema de tamiz estático.

Estos equipos son baratos, no tienen partes móviles y su mantenimiento es mínimo, pero presentan una gran pérdida de carga (necesitan un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida) [45].

Los **tamices rotativos** (Figura 6.6) o dinámicos, están constituidos por una lámina perforada formando un tambor que gira en torno a su eje principal. La alimentación se realiza bien por la parte interna del tambor, o más comúnmente por la cara externa. Los sólidos quedan retenidos en la rejilla que forma el tambor, mientras que el agua sin sólidos se evacúa por uno de sus laterales.

La luz de malla en estos tamices suele variar entre 0,5 – 1,5 mm, siendo la capacidad de tratamiento muy superior a la que se consigue con tamices estáticos (más del doble) [62].

Mecánicamente son más complejos y de coste más elevado. Cuentan con un motorreductor de poca potencia, que permite el giro a baja velocidad. Esto implica un consumo de energía, aunque bajo.

La limpieza del tambor se realiza mediante una rasqueta que descarga los residuos en un contenedor, y se complementa con una línea de boquillas alimentadas con agua a presión.

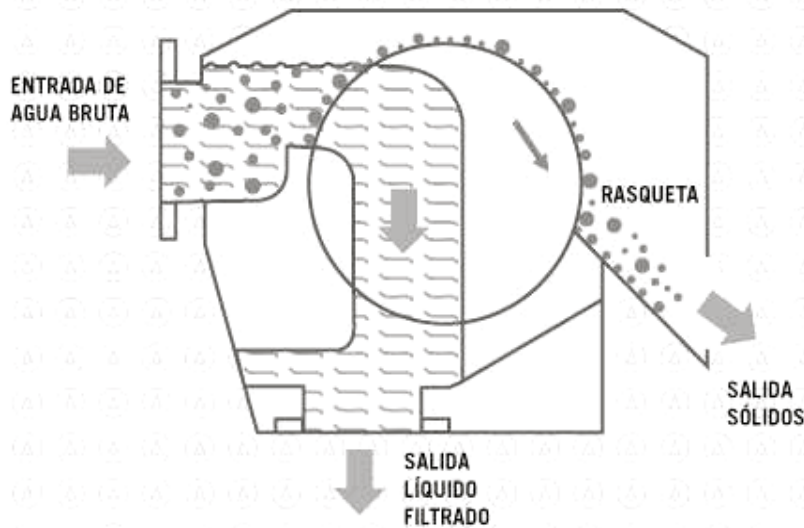


Figura 6.6. Esquema de tamiz rotativo.

Los **tamices de superficie móvil** ^[44] o automáticos (**Figura 6.7**) pueden estar formados por un sistema fijo de retención de sólidos (placa perforada o malla trenzada) sobre el que se desplaza un sistema automático de limpieza (cepillo, rasqueta, etc.); o por un sistema móvil de retención (cadena articulada) que arrastra los sólidos retenidos hasta el sistema de eliminación de los mismos.

La superficie móvil, se va desplazando de abajo a arriba, formando una banda continua.

El paso de luz ^[44] de estas unidades es mayor que en los tamices estáticos y rotatorios, variando entre 1 – 4 mm. Existen diferentes modelos en el mercado y su instalación se realiza al igual que en el caso de las rejillas, en el canal.

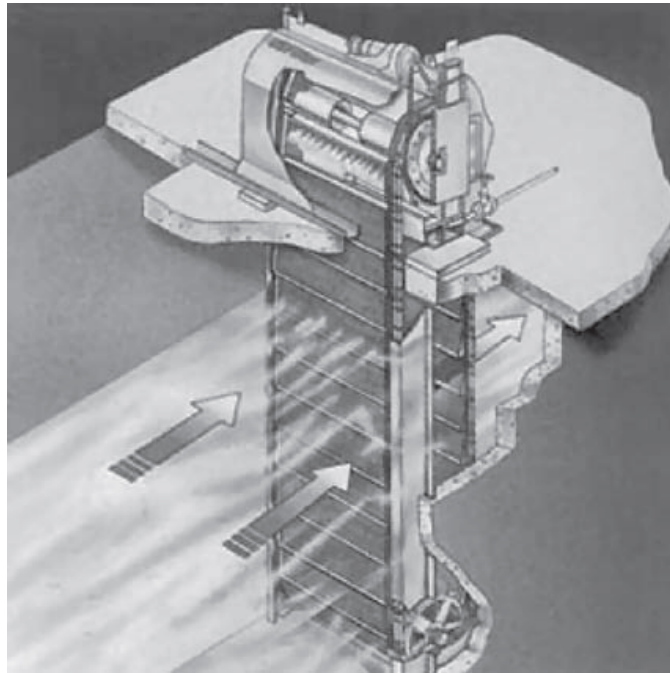


Figura 6.7. Esquema de tamiz de limpieza automática.

La cantidad de sólidos retenidos por los sistemas de tamices, depende en gran medida de la luz del tamiz. Tamices con aberturas entre 2 y 6 mm retienen del 5 al 10% de los sólidos suspendidos afluentes, mientras que tamices con aberturas entre 0,75 y 1 mm pueden retener entre el 10 y 15% [43], existiendo valores de retención mayores. En los residuos finos el contenido de sólidos volátiles que varía entre el 65 y el 95%.

En la **Tabla 6.2.** se resumen los dispositivos de desbaste típicamente utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 6.2. Descripción de los dispositivos de desbaste empleados en el tratamiento de aguas residuales ^[43].

TIPO DE DISPOSITIVO	SUPERFICIE DE DESBASTE			APLICACIÓN
	Clasificación por tamaño	Intervalo de paso, cm	Material	
Reja de barras	Grueso	1,5-3,75	Acero, acero inoxidable	Pretratamiento
Tamices				
Inclinado (fijo)	Medio	0,025-0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
Inclinado (rotatorio)	Grueso	0,075x0,225x5,0	Placas de bronce o de cobre pulido	Pretratamiento
Tambor (rotatorio)	Grueso	0,25-0,50	Malla de cuña de acero inoxidable	Pretratamiento
	Medio	0,025-0,25	Malla de cuña de acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	6-35 micras	Mallas de poliéster y acero inoxidable	Eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios
Disco giratorio	Medio	0,025-0,1	Acero inoxidable	Tratamiento primario
	Fino	0,0025-0,05	Acero inoxidable	Tratamiento primario
Centrífugo	Fino	0,005-0,05	Acero inoxidable, poliéster y diversos tipos de telas	Tratamiento primario, secundario con tanque de sedimentación, eliminación de sólidos en suspensión residuales secundarios

6.1.2.- HOMOGENEIZACIÓN

Los cambios tanto en la carga contaminante como en el caudal del flujo de agua residual, hacen necesario el reajuste de diversos parámetros de funcionamiento de la planta de tratamiento.

La homogeneización es una medida empleada para superar los problemas de explotación que estas variaciones provocan en las instalaciones, y para mejorar la efectividad de los procesos de tratamiento situados aguas abajo [43].

Mediante tanques de homogenización, se consigue generar efluentes de caudal y/o carga contaminante constantes, reduciendo el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento ubicadas aguas abajo, mejorando la calidad del agua tratada.

Según la **ubicación del tanque de homogeneización**, existen dos tipos de unidades denominados unidad en línea y unidad en derivación.

- **Homogeneización en línea:** El tanque de homogeneización se encuentra en la dirección del flujo de las aguas, pasando por él la totalidad del caudal. Con esta unidad, además de conseguir regular el caudal, se consigue homogeneizar las cargas afluentes a la planta.
- **Homogeneización en derivación:** El tanque está separado del flujo de corriente principal, desviándose a éste sólo las aguas que excedan del caudal medio diario.

Según el **nivel en el tanque de homogeneización**, se distinguen unidades de homogeneización a nivel constante o variable [42].

- **Tanques de homogeneización a nivel constante:** El nivel del depósito de homogeneización se mantiene constante, en consecuencia si el caudal de entrada varía, varía también el caudal de salida. Con este sistema no se trata de homogeneizar el caudal, sólo se pretende homogeneizar la carga contaminante del afluente.

Si las fluctuaciones en el caudal de entrada son muy grandes, el efluente procedente de un sistema de homogeneización a nivel constante puede llevarse a otro depósito de homogeneización, que tenga como objetivo una homogeneización de caudal.

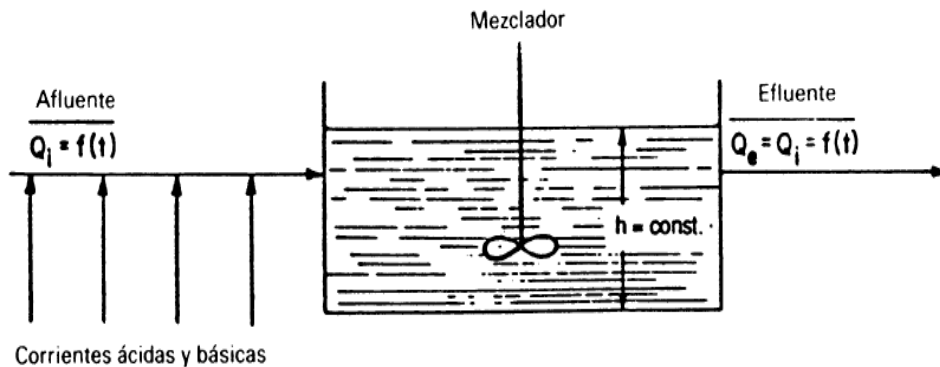


Figura 6.8. Estanque de homogeneización a nivel constante^[42].

- **Tanques de homogeneización de nivel variable:** El efluente obtenido con este método es de caudal constante, y teniendo en cuenta que el caudal de entrada varía con el tiempo, el nivel del estanque debe hacerse variable. Si todo el caudal pasa por el tanque, no sólo se consigue un efluente de caudal constante, si no también homogeneizar la carga contaminante.

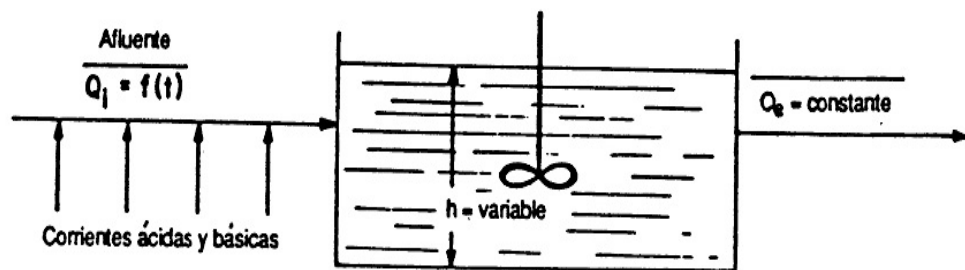


Figura 6.9. Depósito de homogeneización de nivel variable ^[42].

6.1.3.- SEDIMENTACIÓN

La sedimentación consiste en la separación por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Pueden considerarse tres tipos de mecanismos ^[42] o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos en suspensión:

- **Sedimentación discreta:** Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, las propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.

- **Sedimentación con floculación (floculenta):** La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad o en la velocidad de sedimentación. La sedimentación que se lleva a cabo en los sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso.
- **Sedimentación por zonas (zonal o retardada):** Las partículas forman una especie de manto que sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida. Un ejemplo de este proceso es la sedimentación de lodos activos en los clarificadores secundarios.

La forma de los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación es variable en función de las características de las partículas a sedimentar ^[46] (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

Según su forma, los equipos de clarificación típicos pueden ser **rectangulares, circulares, o de lamelas (Figuras 6.10 y 6.11).**

- **Clarificadores rectangulares:**

En estas balsas rectangulares, el agua entra por un extremo y sale por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga de la balsa.

Los fangos, depositados en el fondo del equipo, son arrastrados a lo largo del tanque y hacia uno de sus extremos (**Figura 6.10-a**) bien por un sistema de rasquetas o por puentes móviles. El mecanismo es de rasquetas de tipo rotatorio, y consiste en una serie de pequeñas rasquetas montadas en una cadena sin fin, que hace contacto con el fondo del tanque. Se mueven lentamente a una velocidad de 0,3 m/min ^[42].

La ventaja ^[44] de los decantadores rectangulares, es su fácil acoplamiento en el caso de necesitar la construcción de varias unidades.
- **Clarificadores circulares:**
 - **Con alimentación central:** La alimentación se realiza por la parte central y el agua clarificada rebosa por un canal de recogida en la periferia (**Figura 6.10-b**).

El fondo del clarificador tiene una pendiente mínima de 1/12 ^[42]. El mecanismo de rasquetas es de tipo paletas para evitar que tenga una inercia y prevenir la adherencia del lodo al fondo del tanque.
 - **Con alimentación periférica:** La alimentación está situada en la periferia y el agua clarificada rebosa por un canal de recogida



- Planta de tratamiento de aguas residuales
procedentes de la producción del biodiesel -



en la zona central. Los demás detalles son similares a los del tipo mostrado en la **Figura 6.10-b**.

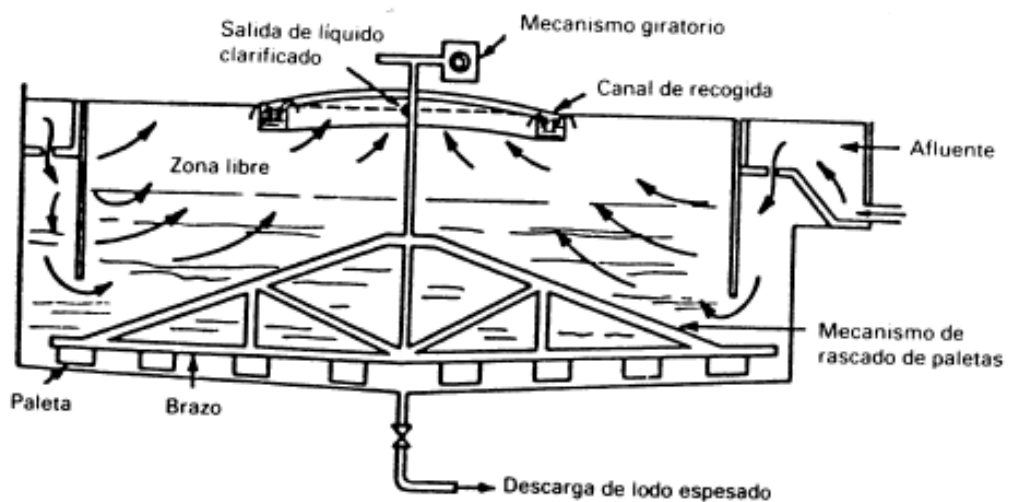
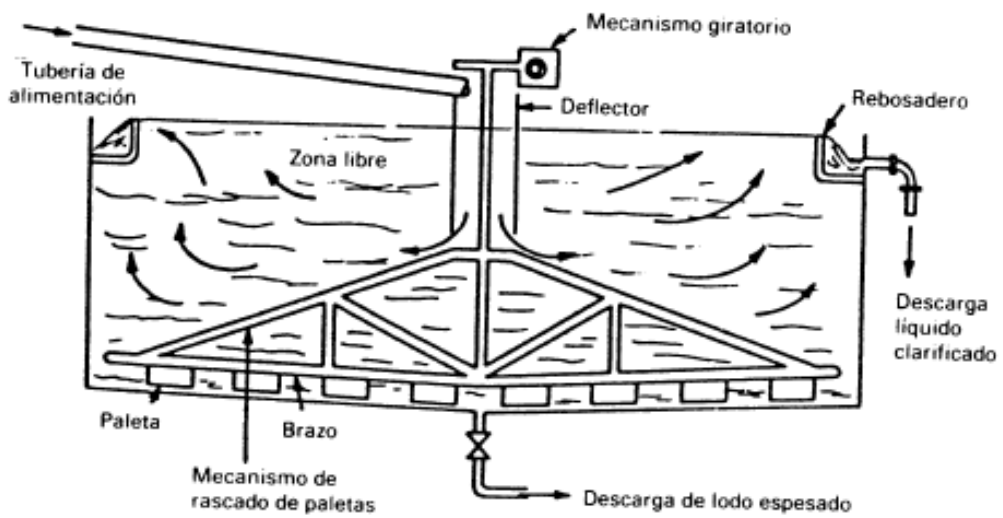
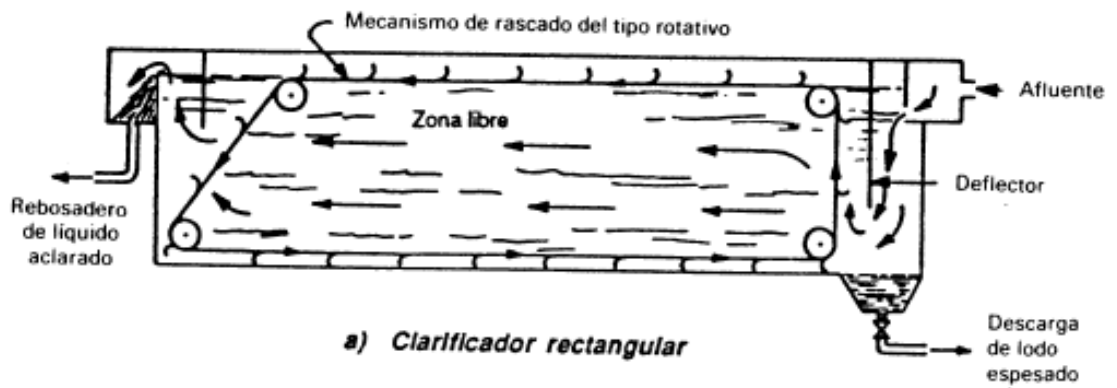


Figura 6.10. Tipos de clarificadores [42].

- **Clarificadores lamelares (de láminas o tubos):** Consisten en tanques de poca profundidad que contienen paquetes de placas (lamelas) paralelas, separadas entre 2 y 5 cm (en función del suministrador), o un conjunto de tubos en forma de panel, inclinados respecto a la base, formando con ésta un ángulo entre 45 y 60°, y por cuyo interior se hace circular el agua de manera ascendente. En la superficie inferior de estos elementos se van acumulando las partículas, desplazándose de forma descendente y recogiendo en el fondo del sedimentador.

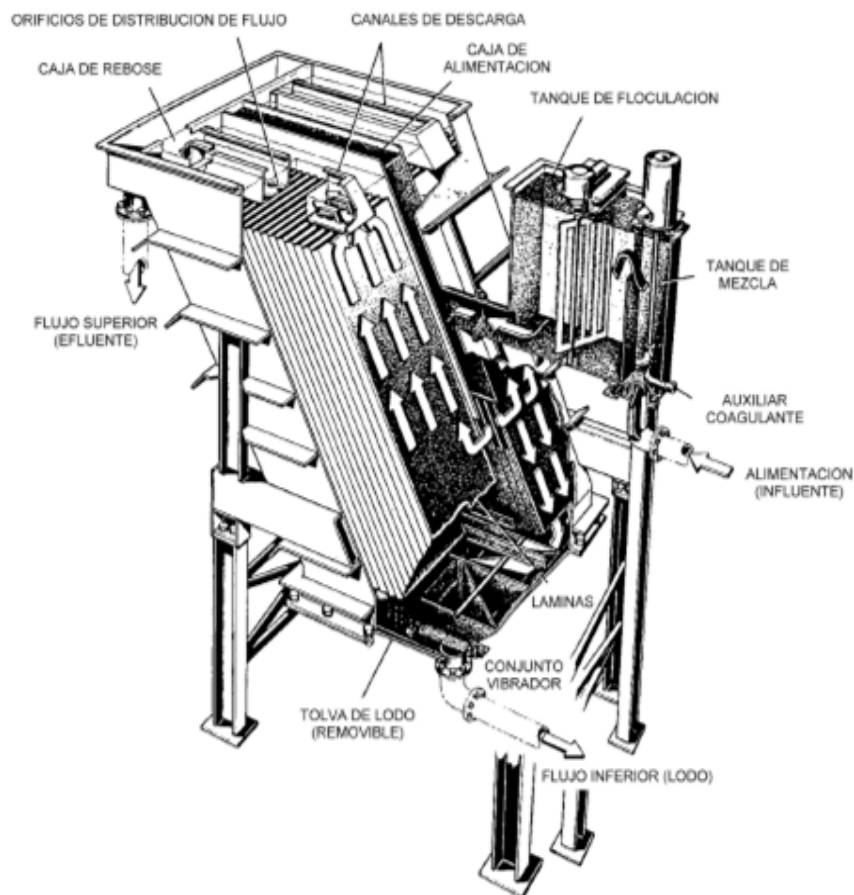


Figura 6.11. Sedimentador de láminas o tubos [49].

Con la adición de estas placas o tubos al equipo se consigue una mayor área de sedimentación en el mismo espacio, lo que se traduce en equipos mucho más compactos. Por otra parte tienen con mayor tendencia al ensuciamiento, requieren limpieza periódica.

6.1.4.- FLOTACIÓN

La flotación es un proceso físico por el cual partículas tanto sólidas como

líquidas son separadas de la fase de agua residual mediante su fijación a burbujas de aire.

La separación se lleva a cabo introduciendo o formando burbujas de aire de tamaño muy fino en el agua residual. Estas burbujas tienden a fijarse en la superficie de la materia a separar, de forma que el peso específico del conjunto partícula-aire es inferior al del agua residual, creándose una velocidad ascensional suficiente para que la partícula alcance la superficie del líquido. Las partículas flotantes se acumulan en la superficie del agua y se recogen con dispositivos mecánicos apropiados (desespumadores o skimmers) [49].

Para apoyar el proceso de flotación, se utilizan comúnmente aditivos de floculación como sales de aluminio y férricas, sílice activado y diversos polímeros orgánicos [49]. Su función, además de la coagulación y floculación, es crear una superficie o estructura capaz de atrapar las burbujas de aire. Con este método se consigue que incluso partículas con mayor densidad que el agua puedan ser separadas.

Existen tres métodos de flotación, en función del modo en que se agrega el aire [49]:

- **Flotación por vacío**, en la que se disuelve aire a presión atmosférica, y a continuación se aplica una caída de presión para permitir la formación de burbujas.
- **Flotación por aire inducido (IAF)**, la operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior [46].
- **Flotación por aire disuelto (DAF)**, en la que se disuelve aire presurizado (0,4–0,8 MPa) en el agua residual – o en parte del agua residual – y posteriormente se libera para formar pequeñas burbujas [49]. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador, una válvula reductora de presión y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire. [46]

El **sistema de DAF** puede existir en diferentes variantes, entre las que destacan el sistema de DAF sin recirculación de agua residual efluente de la unidad (se presuriza el caudal total de entrada al sistema de DAF) y el sistema de DAF con recirculación (se presuriza la corriente de agua residual recirculada).

➤ **SISTEMA DE DAF SIN RECIRCULACIÓN: PRESURIZACIÓN DE TODO EL CAUDAL.**

La **Figura 6.12** muestra el esquema de un sistema de DAF sin recirculación. En este sistema, todo el caudal de agua residual pasa a través del calderín de presurización. Las características ^[44] más importantes de esta variante son:

- Produce una disolución de aire máxima y genera la mayor cantidad de burbujas, con una distribución óptima de las mismas a lo largo de toda la masa de agua.
- Producen las mejores condiciones para la formación de las microburbujas en la interfase sólido-líquido.
- El consumo energético es el más elevado de todas las variantes, precisando un equipo de presurización de gran tamaño.

Entre los problemas ^[44] que presenta, se encuentran:

- Al pasar el agua residual bruta por el sistema de bombeo, puede producirse la formación de coloides y/o emulsiones.
- Si los sólidos en suspensión tienen dureza, pueden generar problemas de abrasión en el equipo de presurización.
- En el caso de que se utilice un proceso de coagulación-floculación previo, se producirá una rotura de los flóculos ya formados al pasar a través del equipo de bombeo.

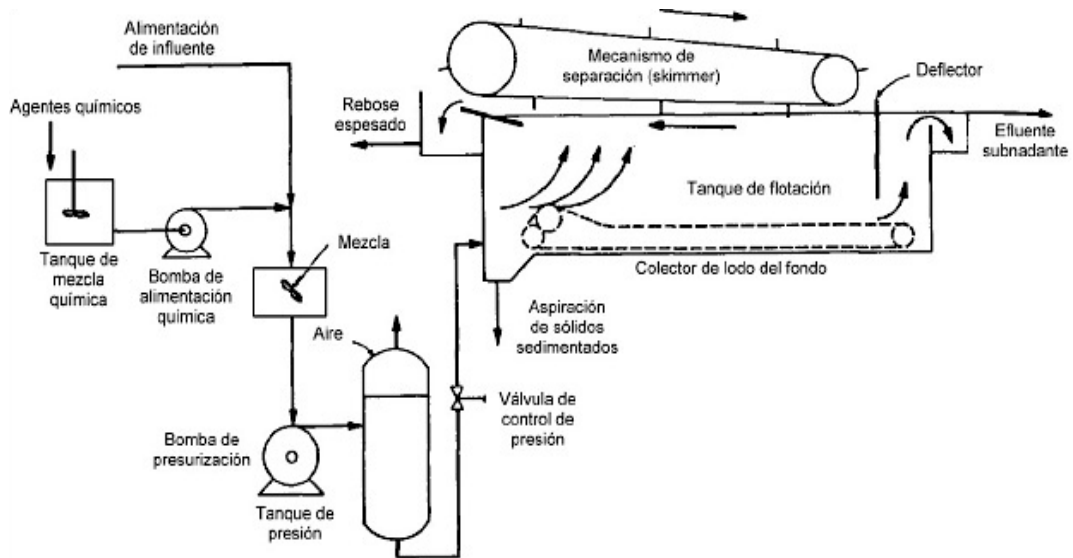


Figura 6.12. Sistema de DAF sin recirculación [49].

➤ SISTEMA DE DAF CON RECIRCULACIÓN: PRESURIZACIÓN DE LA RECIRCULACIÓN.

En la Figura 6.13 se muestra el esquema de un sistema de DAF con recirculación. En esta variante, una parte del efluente del tanque de flotación es recirculado e introducido en el sistema de presurización, pasando el agua a tratar directamente al mencionado tanque.

Las características [44] más importantes de este sistema de operación son las siguientes:

- Requiere menor equipo de presurización, y en consecuencia menor consumo energético.
- Asimila con gran facilidad cambios en el caudal y composición.
- Evita la formación de coloides y emulsiones al no pasar por el sistema de bombeo el agua bruta a tratar, optimizando la formación del flocúlos en plantas con coagulación floculación previa al sistema de flotación.
- Al presurizar agua tratada, se evitan los problemas de abrasión sobre el equipo de bombeo.
- La cantidad de agua a recircular es función directa de los sólidos en suspensión y aceites a eliminar.

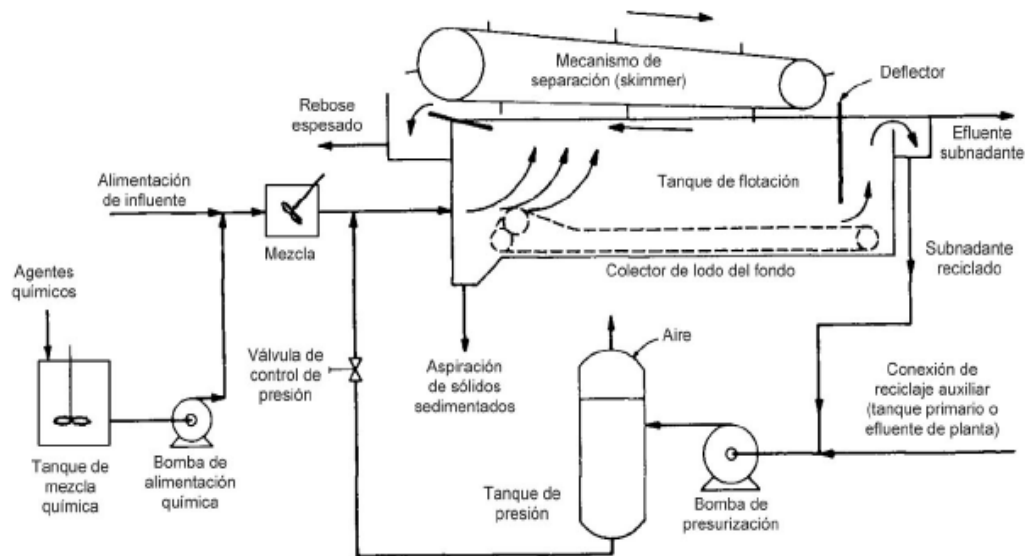


Figura 6.13. Sistema de DAF con recirculación [49].

6.2.- TRATAMIENTOS QUÍMICOS

6.2.1.- NEUTRALIZACIÓN

En muchas ocasiones las aguas residuales industriales contienen en su composición compuestos ácidos o alcalinos, que provocan valores de pH extremos en el agua residual, no adecuados para su vertido a cauce ni para llevar a cabo en condiciones óptimas los procesos de depuración siguientes.

Con el fin de neutralizar estos compuestos ácidos o alcalinos, llevando los valores de pH en el agua residual a otros adecuados bien para su vertido, bien para llevar a cabo adecuadamente los procesos de depuración siguientes, en los procesos de neutralización se dan reacciones químicas en las cuales un agua ácida reacciona con un reactivo alcalino o bien un agua alcalina reacciona con un reactivo ácido, dando como resultado la sal correspondiente y agua, de tal forma que el pH final del agua residual este dentro del rango previsto.

Objetivos del proceso de neutralización son:

- Ajustar los valores de pH del agua residual a los autorizados para su vertido por la legislación vigente.
- Ajustar los valores de pH a los precisos para tratamientos biológicos posteriores.
- Evitar ataques químicos, fundamentalmente de las aguas ácidas a las

estructuras metálicas, equipos, obra civil, etc. que componen la instalación.

- Ajustar los valores de pH a los idóneos de otros procesos químicos, como coagulación, precipitación, redox, etc.

Los métodos para neutralización de aguas residuales incluyen:

- Homogeneización: Mezcla de corrientes ácidas y alcalinas disponibles en la planta.
- Métodos de control directo de pH: Adición de ácidos o bases para neutralizar las corrientes alcalinas o ácidas.

Por tratarse la neutralización de una reacción química, el proceso tiene lugar de forma muy rápida, precisándose unos tiempos de retención mínimos siempre que se disponga de una agitación energética que permita que el contacto entre reactivo y agua residual en el menor tiempo posible.

Según la forma de operación, se tienen:

➤ PROCESOS POR CARGAS

En aquellos casos en que la generación de aguas residuales sea discontinua y se trate de pequeños volúmenes, es posible llevar a cabo el proceso de neutralización por cargas. Dicho proceso consiste básicamente en acumular el agua residual a tratar en un tanque debidamente agitado. Una vez lleno el tanque y mediante un sistema de control de pH comienza la dosificación del agente neutralizante correspondiente, hasta conseguir el valor adecuado de este parámetro. En este caso el sistema de control puede ser todo-nada actuando sobre una bomba dosificadora, o sobre una válvula automática.

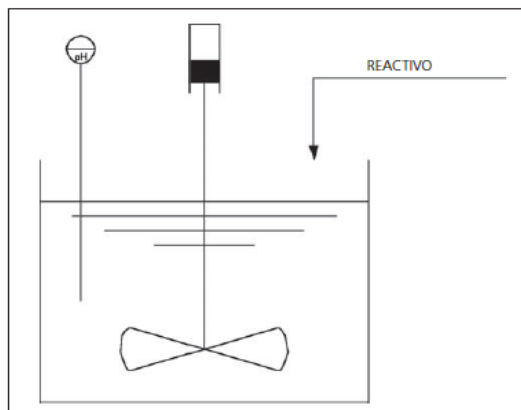


Figura 6.14. Esquema de un proceso de neutralización por cargas [44].

➤ PROCESOS CONTINUOS

Cuando se trata de caudales altos, el proceso de neutralización debe ser llevado a cabo de forma continua. Si las variaciones de caudal o composición son importantes, se hace preciso utilizar una balsa o tanque de homogeneización y regulación del caudal previo al proceso de tratamiento.

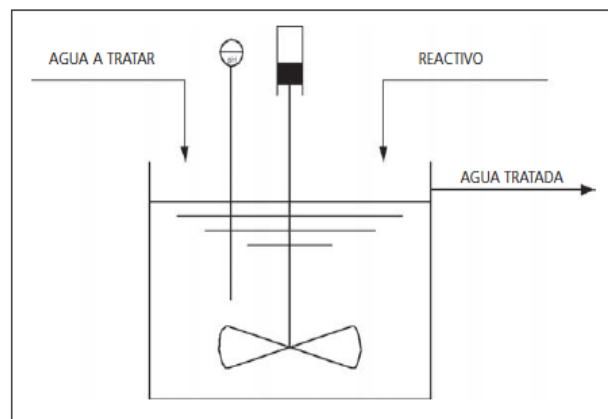


Figura 6.15. Esquema de un proceso de neutralización continuo [44].

Con esta forma de operación, el agua residual está entrando de forma continua en el reactor en el que está instalado un sistema de control de pH que comanda la cantidad de reactivo preciso a dosificar, actuando sobre la bomba dosificadora correspondiente, siendo la cantidad de reactivo añadido en función de la desviación del punto de consigna preestablecido.

6.3.- TRATAMIENTOS FÍSICO – QUÍMICOS

6.3.1.- COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN

En las aguas residuales pueden existir una serie de partículas que bien por su pequeño tamaño, su baja densidad o por encontrarse cargadas eléctricamente formando coloides, no son separables por decantación.

En el proceso de coagulación - floculación no tiene lugar separación alguna de contaminantes, sino la adecuación de estas partículas de forma que puedan ser fácilmente separables a través de otros procesos instalados a continuación como la sedimentación o flotación.

El proceso de coagulación es la reacción química que tiene lugar por la adición de determinados productos químicos al agua residual, que producen la desestabilización de las partículas en solución coloidal o emulsionadas,

mediante la neutralización de las cargas eléctricas que tienden a mantenerlas separadas. La formación de partículas fácilmente sedimentables a partir de las partículas desestabilizadas por el agrupamiento entre ellas es lo que se denomina floculación.

Mientras que la coagulación es una reacción de tipo químico, siendo la fuerza primaria de tipo electrostático o interiónico, en el proceso de floculación predominan la formación de puentes o enlaces de tipo físico.

La utilización de un proceso de coagulación - floculación antes de una decantación primaria en una planta de tratamiento de aguas residuales da como resultado una mejora importante en el rendimiento del mencionado proceso, pudiéndose llegar hasta una eliminación próxima a un 90% de los sólidos en suspensión y de un 70 - 75% de DBO, frente a un 60 - 65% y 30 - 35% respectivamente en un proceso convencional.

Las principales desventajas de aplicar este proceso son la preparación de los reactivos, el coste de los mismos y la generación de una mayor cantidad de lodos.

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación:

- **Sales de Fe^{3+} :** Pueden ser FeCl_3 o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.
- **Sales de Al^{3+} :** Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.
- **Polielectrolitos:** Polímeros orgánicos, naturales o sintéticos, de alto peso molecular y largas cadenas, existiendo en el mercado una gran variedad de marcas que comercializan estos productos. Pueden ser no iónicos (poliacrilamidas), aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor. En el proceso de floculación son generalmente bajas, variando entre 1 y 4 ppm, dependiendo de la concentración, tamaño y tipo de sólidos

presentes en el agua residual.

En la **Tabla 6.3** a continuación, pueden observarse las características de los reactivos coagulantes más utilizados en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Tabla 6.3. Características de algunos reactivos coagulantes ^[44].

COAGULANTE	Dosis (mg/L)	pH óptimo	Aplicaciones
CaI	150-500	9-11	Eliminación de coloides (1)
Al ₂ (SO ₄) ₃	75-250	4,5-7	Eliminación de coloides (1)
FeCl ₃	35-150	4-7	
FeCl ₂	70-200	4-7	Eliminación de coloides (2)
FeSO ₄ .7H ₂ O			
Polímero catiónico	2-5		Eliminación de coloides (3)
Polímero aniónico y no iónico		0,25-1	Ayudante de floculación y sedimentación
(1) Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con baja alcalinidad y alta concentración de fósforo. (2) Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con alta alcalinidad y baja concentración de fósforo. (3) Eliminación de coloides. Ayudante con coagulantes metálicos.			

Los equipos en los que se lleva a cabo este proceso, suelen constar de dos partes: En la primera se adicionan los reactivos y se somete el agua a una fuerte agitación y durante un corto periodo de tiempo, con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide para llevar a cabo la coagulación. La segunda, al no ser floculación una reacción química, tiene lugar en un equipo con agitación moderada durante tiempos mayores. De este modo los flóculos ya formados no se verán destruidos, pero se pone en contacto las partículas con el reactivo y se mantienen los sólidos en suspensión.

Tras este proceso se consigue que la materia en suspensión tenga unas características adecuadas para su eliminación mecánica.

6.3.2.- ELECTROCOAGULACIÓN

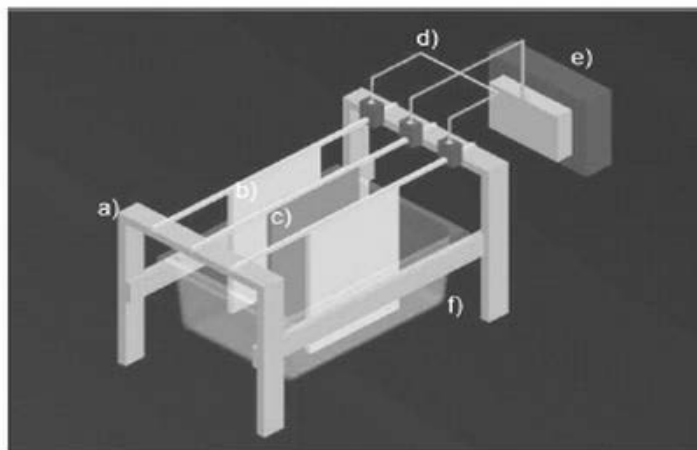
Se conoce como electrocoagulación al proceso de desestabilizar contaminantes suspendidos, emulsificados o disueltos en un medio acuoso, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del mismo. La corriente

eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas. En este proceso el coagulante se genera in situ mediante oxidación electrolítica de un ánodo de un material adecuado. Los fangos producidos durante el tratamiento se separan posteriormente por filtración, decantación o flotación. Puesto que utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación, su coste es uno de las principales desventajas de este proceso.

El equipo utilizado se puede considerar como una celda electrolítica, cuyos elementos conductores de corriente (ánodos o electrodos de trabajo y cátodos o electrodos inertes), son sumergidos en el agua residual a tratar, que es aprovechado como medio electrolítico.

Para que el reactor funcione, se requiere de una fuente externa de energía eléctrica que origina las reacciones electroquímicas como consecuencia del flujo de electrones entre los electrodos metálicos y los compuestos presentes en el efluente. Así, se generan procesos de reducción en el cátodo (conversión de los protones del agua en hidrógeno), y de oxidación en el ánodo (que produce iones metálicos y oxígeno, este último proveniente de la hidrólisis del agua).

Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que precipitan o flotan, facilitando su eliminación por algún método de separación secundario como filtración, decantación o flotación [40].



Leyenda

- a) Material aislante
- b) Ánodo
- c) Cátodo
- d) Metal conductor
- e) Fuente de corriente
- f) Aguas residuales industriales

Figura 6.16. Prototipo de celda de electrocoagulación [40].

6.3.3.- FOTO-FENTÓN

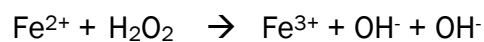
El proceso Foto-Fentón ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) es un tratamiento homogéneo fotocatalítico de oxidación avanzada.

Los tratamientos de oxidación avanzada, se basan en la formación de

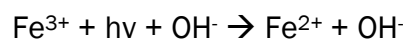
radicales hidroxilo, que caracterizados por su alto poder oxidante, destruyen la materia contaminante oxidable contenida en el agua residual. Estos procesos se distinguen por la forma en que crean los radicales hidroxilo.

El proceso Foto-Fenton, utiliza sales de hierro en presencia de peróxido de hidrógeno como catalizadores, y radiación solar ultravioleta con el objeto de formar in situ los radicales hidroxilo, los cuales inician una cadena de reacciones para eliminar la materia oxidable en el agua residual.

La reacción principal consiste en:



Irradiando la solución con luz UV, se puede conseguir la reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} , y con ello mejorar el proceso:



Por otro lado, se trata de proceso que utilizan reactivos costosos como el agua oxigenada, por lo que su utilización en general se restringe a situaciones en las que procesos más baratos como los biológicos, no sean posibles.

6.4.- TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los tratamientos biológicos son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. En estos procesos se utilizan microorganismos, que utilizan la materia orgánica biodegradable como fuente de energía y de carbono, de modo que una parte de dicha materia se transforma en nuevos microorganismos y el resto es oxidada.

La biodegradabilidad de una corriente de agua residual, puede estimarse por la relación DBO/DQO antes del tratamiento. De este modo [49]:

- Si DBO/DQO <0,2 - Agua residual escasamente degradable
- Si DBO/DQO 0,2-0,4 - Agua residual entre moderadamente y bastante degradable
- Si DBO/DQO >0,4 - Agua residual muy degradable

Existen diferentes tipos de procesos metabólicos, según el aporte de oxígeno al proceso, los principales son:

- **Procesos aerobios**, con aporte de oxígeno.

- **Procesos anaerobios**, sin aporte de oxígeno.

Independientemente de que el proceso sea aerobio o anaerobio, los tratamientos biológicos pueden clasificarse también según el estado de la biomasa:

- **Biomasa en estado libre o en suspensión**, en los cuales los microorganismos responsables del proceso se encuentran en mezcla íntima con el agua residual a tratar.
- **Biomasa en lecho fijo**, en los cuales los microorganismos se encuentran fijados sobre un soporte físico, pasando el agua a través del mismo.

Dentro de este grupo hay una serie de variantes como:

- **Soporte fijo**, como es el caso de los filtros percoladores.
- **Soporte móvil**, por ejemplo los biodiscos.
- **Lechos fluidizados**, en los que la biomasa se encuentra fijada sobre un soporte formado por partículas sólidas, que se mantiene en suspensión por la velocidad ascensional del agua en el tanque.

De igual modo, podrán ejecutarse **procesos combinados** anaerobio-aerobio. Estos procesos enlazan un tratamiento anaerobio con uno aerobio a continuación. Aumentan la eficiencia energética en el tratamiento de las aguas residuales, logran reducir el costo de operación y mantenimiento, y disminuyen la producción de lodo generado respecto a la generada por un sistema aerobio convencional.

Se exponen a continuación, las posibles alternativas para ambos tipos de tratamiento, anaerobio y aerobio.

6.4.1.- TRATAMIENTO ANAEROBIO

El tratamiento anaerobio de aguas residuales se utiliza esencialmente para aguas residuales caracterizadas por una elevada concentración de materia orgánica (>2 g DQO/L) [49].

En aguas residuales industriales, la implantación de este tratamiento ha aumentado considerablemente debido al aumento de los costes energéticos y problemas con la gestión del exceso de lodo formado en los procesos de tratamiento aerobio.

En el tratamiento anaerobio se convierte el contenido orgánico del agua residual, con ayuda de microorganismos y en ausencia de aire, en biogás (principalmente formado por CH₄, CO₂).

Hay varios tipos de reactores disponibles, aunque entre los que se utilizan más comúnmente se encuentran:

- Reactor de contacto anaerobio (ACR)
- Reactor de capa de lodo anaerobio con flujo ascendente (UASB)
- Reactor de lecho fijo.
- Reactor de lecho expandido.

6.4.1.1.- Reactor de contacto anaerobio (ACR)

En el proceso de contacto anaerobio (ACR), el agua residual se mezcla con lodo reciclado en un reactor de tanque agitado. La mezcla de agua residual/lodo se separa externamente (bien por sedimentación o por flotación al vacío), de modo que el sobrenadante se descarga para tratamiento posterior (aguas abajo), y el lodo anaerobio se recircula al reactor ^[49].

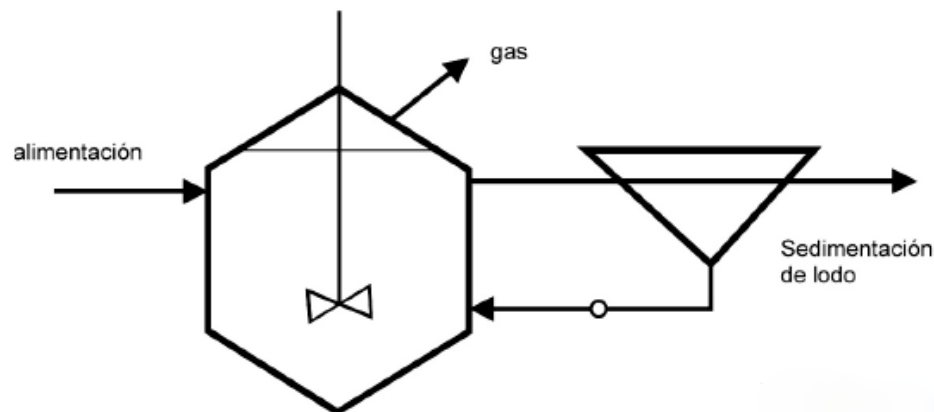


Figura 6.17. Esquema de un proceso de contacto anaerobio ^[49].

6.4.1.2.- Reactor de capa de lodo anaerobio con flujo ascendente (UASB)

El reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Bed) o reactor de capa de lodo anaerobio con flujo ascendente (**Figura 6.18**), proporciona una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes con una estructura relativamente simple. No contiene relleno y generalmente no necesita agitación.

El agua residual a tratar se introduce por la parte inferior del digestor y fluye en sentido ascendente a través de un manto de fango constituido por

gránulos formados biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el fango granular.

La generación de biogás en el interior del digestor colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos y remueve el manto de fangos mejorando el contacto entre estos y el agua residual. Parte de este gas se adhiere a las partículas biológicas y tanto el biogás libre como las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden hacia la parte superior del digestor biológico. Allí, se produce la liberación del biogás adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas vuelven a caer a la zona inferior del digestor y el biogás se captura en una bóveda de recogida de gases instalada en la parte superior del reactor.

El agua residual tratada, abandona el reactor por rebose.

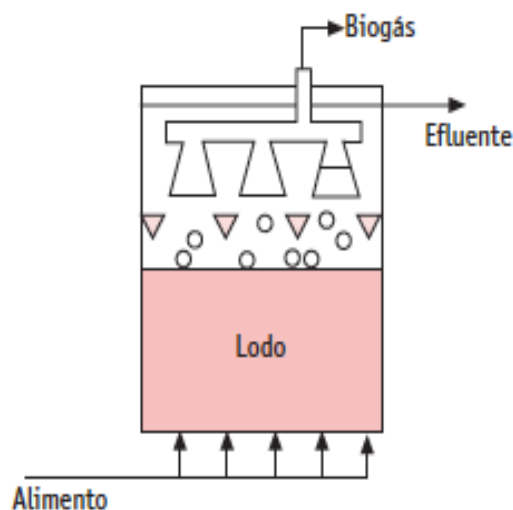


Figura 6.18. Representación esquemática del proceso UASB

6.4.1.3.- Reactor de lecho fijo o filtro anaerobio

En el proceso de lecho fijo o de filtro anaerobio, el agua residual tiene flujo ascendente o descendente (según el contenido de sólidos del influente) a través de una columna con distintos tipos de medios sólidos en los que quedan adheridos y crecen los microorganismos anaerobios, formando una biopelícula de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en el interior del equipo, habitualmente una columna, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, donde entra en contacto con la biopelícula. Son sistemas tradicionalmente utilizados en depuradoras de aguas residuales industriales con alta carga orgánica. Resisten muy bien variaciones de carga en el influente pero no aceptan gran cantidad de sólidos

en suspensión con el influente.

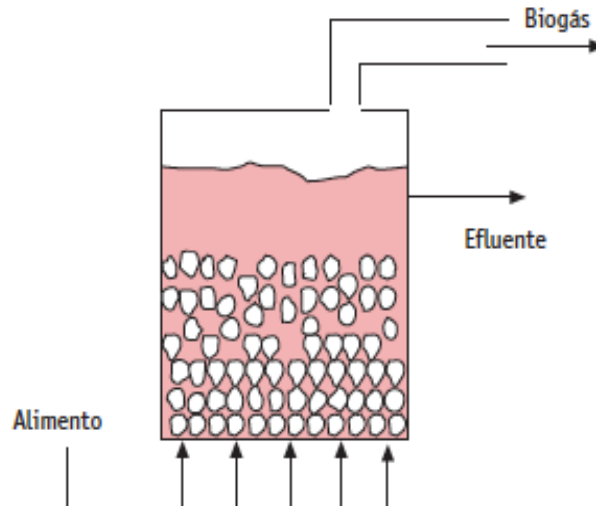


Tabla 6.19. Reactor de lecho fijo o filtro anaerobio

6.4.1.4.- Reactor de lecho expandido

En el proceso de lecho expandido, el agua residual es bombeada desde la base de la columna a través de un lecho de un medio apropiado (arena, carbón, polietileno, etc.) sobre cuya superficie se ha desarrollado crecimiento biológico en una biopelícula. El efluente es recirculado para diluir el agua residual entrante y proporcionar un flujo adecuado que mantenga el lecho en estado expandido.

El exceso de biomasa es retirado y tratado después del biorreactor. No se necesita recirculación de lodo, ya que el soporte de la biopelícula asegura una elevada concentración de biomasa dentro del reactor.

Este tipo de equipos se han comprobado como muy eficaces a escala laboratorio o planta piloto. Se consiguen muy 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.

En la **Tabla 6.4**, se muestran los parámetros típicos de operación según el reactor anaerobio utilizado:

Tabla 6.4. Parámetros típicos de operación de distintos equipos de tratamiento anaerobio ^[49]

PROCESO	DQO de entrada, g/l	Tiempo de retención, h	Carga orgánica, kg DQO/m ³ d	Eliminación de DQO, %
ACP	1,5-5	2-10	0,48-2,40	75-90
UASB	5-15	4-12	4,00-12,0	75-90
Lecho fijo	10-20	24-48	0,96-4,81	75-85
Lecho expandido	5-10	5-10	4,81-9,62	80-85

6.4.2.- TRATAMIENTO AEROBIO

El mecanismo de la oxidación biológica aerobia consiste en la asimilación de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales por los microorganismos, en presencia de oxígeno. Dentro de los sistemas de tratamiento por vía aerobia se encuentran una serie de procesos entre los cuales, los de aplicación más común son ^[53]:

- Lagunas aireadas
- Lodos o fangos activos.
- Filtros biológicos o percoladores.
- Biodiscos, biocilindros, biotambores, etc.
- Estanques de estabilización.

Sin embargo, tanto los sistemas de lagunas aireadas como los estanques de estabilización se aconsejan fundamentalmente para su uso en plantas pequeñas ^[49], ya que el consumo energético es elevado, al precisar aproximadamente entre 2-3 kg O₂/kg DBO eliminada.

El caudal estimado de tratamiento para la planta de estudio es de 1352 m³/día, por lo que sólo se considerarán como alternativas los sistemas de lodos activados, filtros percoladores y biodiscos.

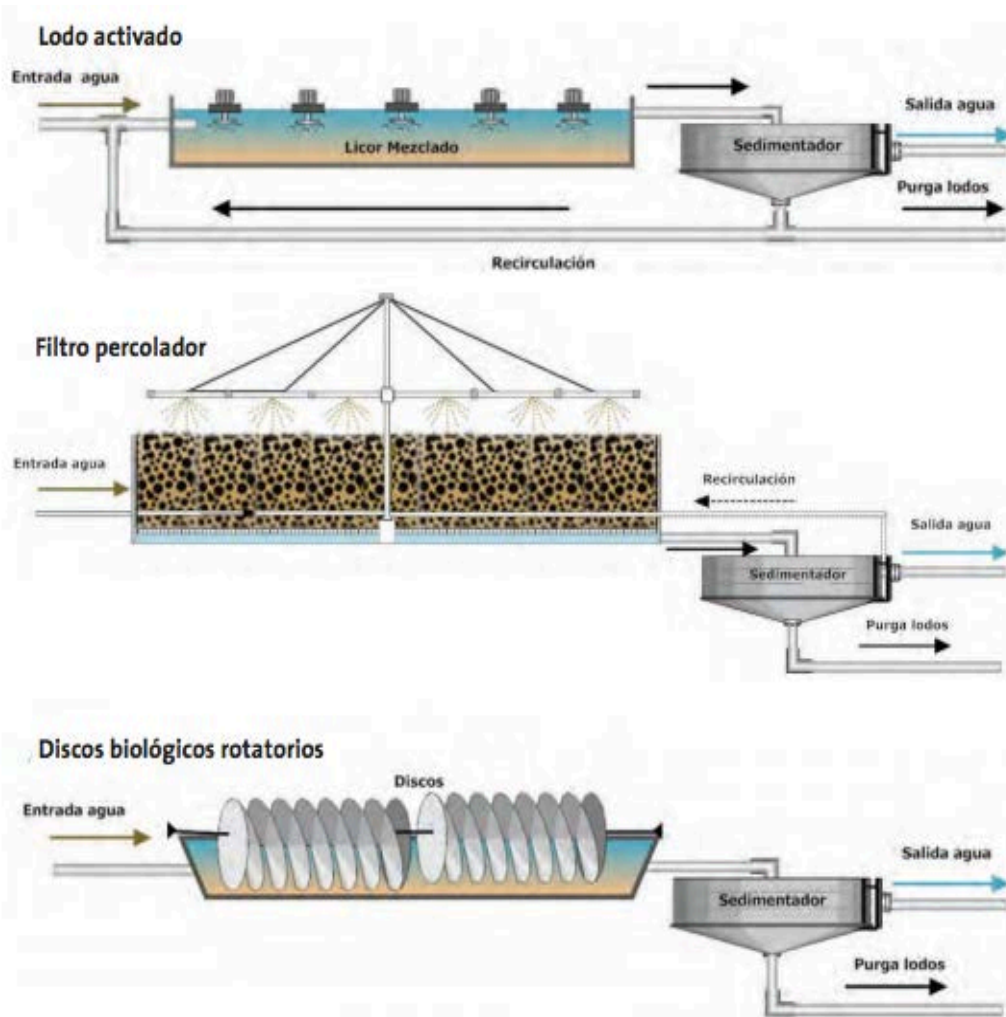


Figura 6.20. Sistemas de tratamiento aerobio de uso más común en el tratamiento de aguas residuales [52].

6.4.2.1.- Lodos o fangos activos

En el proceso de fangos activos se lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, de igual forma que tiene lugar en la naturaleza, a través de un conjunto de microorganismos que la utilizan como sustrato, descomponiéndola vía aerobia, sólo que, a diferencia de lo que ocurre en la naturaleza, la población de biomasa que se utiliza en este proceso es elevada, lo que conlleva que en tiempos reducidos tenga lugar la eliminación de cantidades importantes de DBO [49].

Las unidades básicas que componen el proceso de lodos activos son:

- Reactor o balsa biológica
- Decantador secundario.
- Recirculación del lodo activo

El agua residual que llega al sistema es introducida de forma continua en el reactor, donde se mantiene una concentración elevada de microorganismos en suspensión. En esta etapa los microorganismos utilizan la materia orgánica biodegradable presente como sustrato, provocando su eliminación a través de reacciones bioquímicas de oxidación y síntesis.

El oxígeno que precisan los microorganismos, se introduce empleando difusores, aireadores mecánicos u otros sistemas de aporte de aire al proceso, que al mismo tiempo provocan la agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y en mezcla íntima con el agua a tratar.

Una vez en el decantador secundario, los microorganismos sedimentan en el fondo del equipo. El fango decantado estará compuesto fundamentalmente por microorganismos que han escapado del reactor biológico, de modo que para mantener la concentración de éstos en el reactor, los lodos decantados son de nuevo recirculados al reactor, manteniéndose la población necesaria para el proceso. A su vez en el proceso de síntesis que tiene lugar en el reactor, se formando continuamente nuevos microorganismos, por lo que es preciso purgar para trabajar con una población de microorganismos constante. El agua que sale por el vertedero del decantador, se encuentra tratada y será generalmente adecuada para su vertido.

El proceso de lodos activos convencional, corresponde con un modelo de flujo tipo pistón con recirculación de fangos, siendo los reactores de forma rectangular y alargada. En este caso, el agua residual y los lodos recirculados entran en el reactor biológico por uno de sus extremos y salen por el opuesto, de forma que el agua sale del reactor en la misma secuencia que entró y en consecuencia el agua y los lodos introducidos conjuntamente permanecen el mismo tiempo en el equipo.

Un flujo pistón puro, en el que no exista mezcla longitudinal es muy difícil de conseguir debido al efecto mezcla que producen los sistemas utilizados para la introducción de aire en el reactor.

Al ser la concentración de biomasa constante a lo largo del reactor, al principio del reactor la carga másica será elevada, e irá disminuyendo hacia el final.

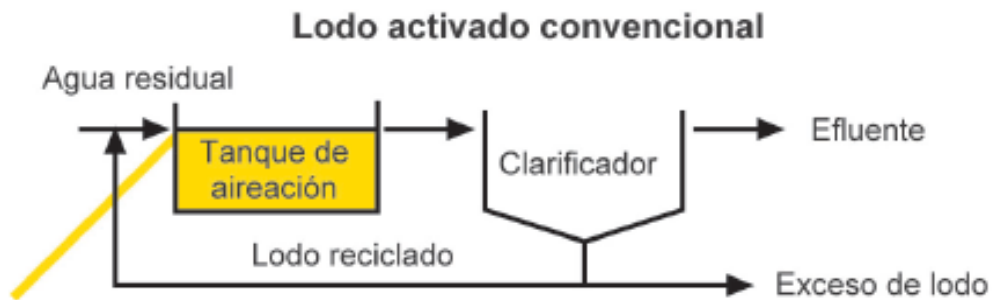


Figura 6.21. Tratamiento aerobio de aguas residuales mediante fangos activos. Proceso convencional ^[44].

6.4.2.2.- Filtro biológico o percolador

Formado por un reactor, en el que se sitúa un material de relleno sobre el cual crece una biopelícula de microorganismos aeróbicos. La altura del filtro puede alcanzar hasta 12 m. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone al igual que en el proceso de lodos activados, de forma que se obtiene más microorganismos y CO_2 . Un inconveniente de los filtros de percolación es que se pueden producir malos olores.



Figura 6.22. Sistema de filtro biológico o percolador.

6.4.2.3.- Biodisco

Tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación, puede estar sumergido entre un 40-90% en el agua a tratar. Sobre el material plástico se desarrolla una biopelícula de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua,

en la parte menos sumergida. El contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

Los problemas operacionales que presentan los sistemas de biodiscos están relacionados con la rotura del medio, fallos en los cojinetes de apoyo, y problemas de olores.

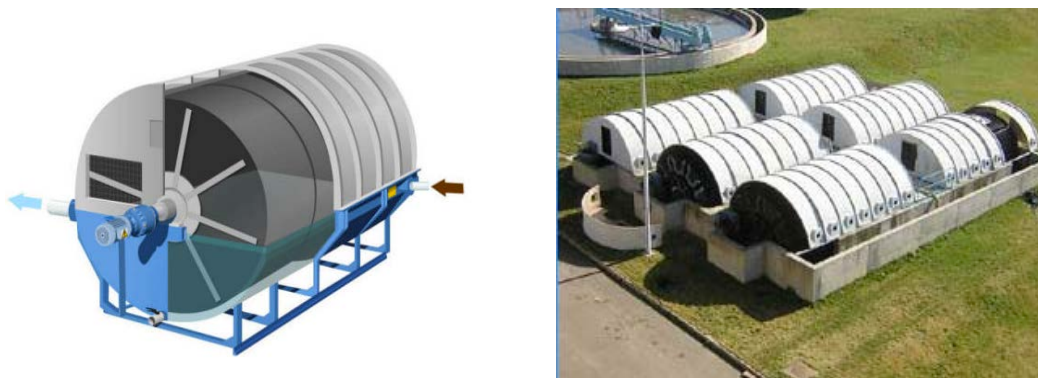


Figura 6.23-a y 6.23-b. Representaciones de un sistema de biodiscos.

Los rendimientos en la eliminación de contaminantes de cada uno de los tratamientos aerobios mencionados se recogen a continuación en la **Tabla 6.5**.

Tabla 6.5. Rendimientos de los procesos unitarios ^[43].

Unidad de tratamiento	Rendimiento de eliminación del constituyente, %					
	DBO	DQO	SS	P ^b	N-Org	NH ₃ -N
Lodos activos	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Filtro percolador	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Biodisco	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15

6.5.- SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO

En la industria de producción de biodiesel, se generan aguas residuales cuya composición varía en función de la tecnología y materia prima utilizadas. Los efluentes generados contienen altas cargas contaminantes, siendo el principal constituyente materia orgánica, representada por una DQO media de 27400 mg/L y una DBO media de 11500 mg/L (aproximadamente el 42% del total de DQO). En estas condiciones, la aplicación de un tratamiento biológico será imprescindible para la correcta depuración de estos efluentes.

El tratamiento biológico individualmente aplicado se muestra ineficaz en la depuración de este tipo de agua residual ^[33] debido a la presencia de inhibidores del crecimiento microbiano.

Su presencia provoca que el tratamiento biológico se ralentice y su rendimiento decaiga, obteniendo un efluente de baja calidad. Por ello, en la línea de tratamiento de aguas se distinguirán dos etapas, una primera de acondicionamiento del agua residual, y una segunda etapa de tratamiento biológico.

PRETRATAMIENTO (Rejas + Tamiz rotatorio)

En primer lugar, se colocará en el canal de entrada a la planta de tratamiento una **reja de desbaste**. Puesto que las aguas residuales a tratar no se caracterizan por contener sólidos de gran tamaño, no será necesario desbaste con rejas de gruesos. Se elegirá instalar una reja de finos de luz 1,5 cm y limpieza automática para garantizar la protección de todos los equipos situados aguas abajo. A continuación se colocará un **tamiz rotatorio** de malla de rejilla, la más adecuada según los fabricantes ^[64] para aguas con alto contenido en grasas, y de luz 1 mm ^[73], con el objetivo de rebajar la cantidad de grasas y sólidos suspendidos desde el inicio del tratamiento, reduciendo así la cantidad de reactivos a utilizar en tratamientos posteriores y la mayor fuente de problemas en los digestores.

TRATAMIENTO PRIMARIO (Tanque de homogeneización + Coagulación-floculación + DAF)

Debido a los altos valores de pH característicos de este tipo de agua residual, será necesario dimensionar un **proceso de homogeneización** en el que se realizará un ajuste del pH, de modo que los valores sean adecuados para llevar a cabo apropiadamente los procesos que tienen lugar a continuación. Se dimensionará un tanque de homogeneización que contará con sistema de

agitación y sistema de adición de reactivos para el control del pH del agua residual. Cualquier ácido fuerte puede usarse para neutralizar vertidos alcalinos, pero por razones económicas la elección suele quedar limitada a ácido sulfúrico, que se utilizará al 98%.

En este tanque se cumplirá el doble objetivo de: suministrar un caudal constante a los equipos siguientes, y rebajar el pH del agua residual de entrada hasta valores adecuados para llevar a cabo los tratamientos posteriores.

El acondicionamiento previo del agua residual supone además de proveer un pH adecuado a la entrada del tratamiento biológico, la eliminación tanto de grasas y aceites como de la materia sólida suspendida, que aparecen en concentraciones medias de 4100 mg grasas/L y 1900 mg SST/L en la entrada.

Para la eliminación de estos contaminantes se dimensionará un tratamiento de tipo físico-químico, compuesto por un proceso de **coagulación-floculación** seguido de **flotación por aire disuelto**.

La **coagulación** se llevará a cabo en un mezclador estático, utilizando como coagulante cloruro férrico.

Los mezcladores estáticos tienen la ventaja de no contener ninguna parte móvil, y extraen la energía requerida para mezclar del flujo usando la diferencia de presión o la energía cinética y/o potencial del fluido que los recorre. Por esto, los costes de mantenimiento y operación de los mezcladores estáticos son más bajos que los correspondientes a agitadores convencionales (mecánicos), requiriendo además los mezcladores estáticos menos espacio.

La selección del coagulante y la dosis exacta necesaria en cada caso, sólo puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio (Jar-Test). Entre la gama de coagulantes posibles, los más adecuados para aguas con alta alcalinidad y bajo fósforo (tal como se indica en la **Tabla 6.3**), son el FeSO_4 y el FeCl_3 . Entre ambos se escoge utilizar FeCl_3 por motivos económicos.

Para el proceso de **floculación**, la agitación debe ser moderada, por lo que se dimensionará una cámara de sección circular dotada de mecanismos de agitación mecánicos de baja velocidad. Como floculante se utilizará el polielectrolito Sifloc 1080D ^[67], el cual ofrece buenos rendimientos aún a pH muy ácidos, adecuados para desestabilizar emulsiones de grasas, y especialmente útil en tratamientos de efluentes donde la separación debe realizarse por flotación.



A pesar de requerir de la adición de reactivos con el coste derivado de ello, se prefiere el proceso de coagulación-floculación frente a un proceso de electrocoagulación, que ofrece los mismos porcentajes de eliminación, pero supone costes de operación superiores dados los requerimientos de energía eléctrica del proceso y su más complejo mantenimiento, que requiere del cuidado y cambios necesarios de los electrodos.

Los contaminantes se separarán utilizando un proceso de **flotación por aire disuelto** (DAF) con recirculación. A pesar de presentar costes operacionales superiores a los asociados a un proceso de sedimentación, la flotación requiere un área mucho menor para su instalación y consigue eliminar mejor y en menor tiempo partículas ligeras de difícil sedimentación, además de ser el proceso más adecuado para la eliminación de grasas, presentes en estas aguas en elevadas concentraciones. Con este proceso de flotación se consiguen eficiencias de eliminación superiores al 95% cuando se acompaña de un proceso de coagulación-floculación previo.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO (Anaerobio: UASB + Aerobio: Lodos activos)

Una vez el realizado el acondicionamiento del agua residual, se dimensionará un tratamiento biológico, que requerirá una etapa anaerobia seguida de un tratamiento aerobio, por la alta carga de materia orgánica biodegradable en el agua residual.

Para el **tratamiento anaerobio**, se dimensionará un **reactor de tipo UASB**. Atendiendo a los datos presentados en la **Tabla 6.4**, el reactor UASB es entre las tecnologías anaerobias la que menor tiempo de retención hidráulica (TRH) requiere, siendo los valores típicos de DQO de entrada y de capacidad de tratamiento de carga orgánica de este tipo de reactor los que mejor se aproximan a la situación del caso de estudio. Además, comparado con el filtro anaerobio y el lecho expandido, presenta la ventaja de no necesitar relleno, y por tanto no existirán problemas de colmatación.

La aplicación de reactores UASB resulta una alternativa simple, asequible y manejable para el tratamiento de aguas residuales industriales. La necesidad de espesamiento y digestión de lodos es mínima, y su aplicación supone la mínima exigencia de equipos mecánicos y de energía para aireación en las unidades de postratamiento aerobio.

En cuanto al **tratamiento aerobio**, en vista de los rendimientos de eliminación presentados en la **Tabla 6.5**, se dimensionará un proceso de **fangos activos**. A pesar de las desventajas del tratamiento de lodos activos (mayor espacio

requerido, el consumo de oxígeno y la producción de lodos), en un análisis detallado sobre las posibilidades de acoplar los procesos de lodos activos convencionales (LAC) con reactores UASB, llevado a cabo por Van Haandel y Lettinga [54], se demostró que el volumen de tanques en un sistema combinado anaerobio-aerobio puede ser 48% del volumen de un sistema de lodos activos convencional. Además el consumo de oxígeno y la producción de lodo son menores, ya que la mayor proporción de materia orgánica y sólidos se reduce en la fase anaerobia, y el lodo aerobio puede ser digerido en el mismo reactor UASB.

En la **Tabla 6.6** se recoge un resumen con la selección de tratamiento realizada.

Tabla 6.6. Selección de tratamiento.

	ETAPAS	EQUIPOS	
PRETRATAMIENTO	Desbaste	Rejas	- Limpieza automática - Luz 1,5 cm
		Tamiz	- Tipo rotatorio - Malla de rejilla - Luz 1 mm
TRATAMIENTO PRIMARIO	Homogeneización	Tanque de homogeneización	- Sistema de agitación - Sistema de adición de reactivos (control de pH)
	Coagulación	Mezclador estático	- Coagulante: FeCl ₃
	Floculación	Cámara de floculación	- Floculante: Sifloc 1080D
	Flotación por aire disuelto	Cámara de flotación	
TRATAMIENTO BIOLÓGICO	Etapa anaerobia	Reactor UASB	
	Etapa aerobia	Reactor de lodos activos	



7. INGENIERÍA BÁSICA

7.1- DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques de la línea de tratamiento de aguas propuesta puede consultarse en formato A4 en el apartado 14. Anexos en el Anexo I. Diagramas.

7.2- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

❖ DESBASTE (REJAS/TAMICES)

Se contará con una única línea de desbaste, compuesta por una reja de finos de 1,5 cm de luz y limpieza automática como elemento de protección para los equipos posteriores. A continuación se situará un tamiz de tipo rotativo de malla de rejilla y luz 1 mm modelo TR 40/50, con capacidad de tratamiento de 60 m³/h para la eliminación de espumas, grasas y aceites libres.

Se colocará en ambos casos, tanto para la reja como para el tamiz, una unidad de reserva de iguales características situada en un canal de bypass, de modo que la planta se mantenga en funcionamiento en caso de obturación, rotura o mantenimiento de la reja y tamiz principales.

Los residuos de desbaste procederán fundamentalmente de la etapa de tamizado y se gestionarán en función de sus características de acuerdo a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

❖ HOMOGENEIZACIÓN Y AJUSTE DE pH.

Se dispondrá de un tanque de homogeneización en el que se dosificará H₂SO₄ para disminuir el valor de pH desde los valores de entrada pH=9,3 hasta un valor adecuado para llevar a cabo la coagulación: pH=6,5.

El tanque contará con un dispositivo de agitación mecánica que facilite conseguir un agua residual de características homogéneas a la salida.

❖ COAGULACIÓN

El proceso de coagulación se llevará a cabo en un mezclador estático, para desestabilizar coloides y emulsiones grasas presentes en el agua residual, utilizando como coagulante FeCl₃ en una dosis de 100 ppm. El pH será un parámetro muy importante para que se lleve a cabo correctamente el proceso de coagulación. El FeCl₃ actúa correctamente como coagulante en el rango pH=4-7. La reacción del FeCl₃ con el agua, genera iones H⁺ que provocan la disminución del valor de pH. Para mantener siempre un pH>4 se dosificará NaOH en el mismo mezclador.

❖ FLOCULACIÓN

El proceso de floculación tendrá lugar en una cámara de floculación de

sección circular, que contará con un dispositivo de agitación mecánica de baja velocidad, adecuado para impedir la rotura de los flóculos formados. Como floculante se utilizará el polielectrolito catiónico Sifloc-1080D, capaz de actuar en un rango de $\text{pH}=2-9$, en una dosis de 3,7 ppm en disolución al 5% [67].

❖ FLOTACIÓN (DAF)

Se contará con un tanque de flotación por aire disuelto con recirculación del efluente para la eliminación de los contaminantes. Se eliminará tanto materia sólida suspendida, la cual ya no existirá como coloide tras los procesos de coagulación y floculación, como grasas y aceites, previamente desmenuzadas.

Para el correcto funcionamiento del proceso DAF, se contará con un sistema de inyección de aire, compuesto principalmente por un filtro, un compresor y un tanque de retención, que permitirán saturar en aire la corriente de agua recirculada, y conseguir la formación de burbujas necesarias para la separación adecuada de los contaminantes en el tanque de flotación.

Los lodos generados en este proceso contendrán una alta cantidad de materia orgánica, grasas y aceites.

❖ DIGESTIÓN ANAEROBIA (UASB)

A continuación el agua residual se tratará en un reactor anaerobio de tipo UASB en el que se eliminará la mayor parte de la carga contaminante orgánica. Los últimos pasos en el acondicionamiento del agua residual previos a la etapa biológica serán el ajuste de pH hasta pH neutro ($\text{pH}=6,7$) y la adición tanto de los nutrientes principales (nitrógeno y fósforo) como de alcalinidad. Se añadirá NaOH en la cantidad adecuada para alcanzar el pH señalado junto con CINH_4 y NaH_2PO_4 como fuentes de nitrógeno y fósforo respectivamente en un mezclador estático previo a la entrada del agua al reactor. Para conseguir la alcalinidad requerida en el proceso se añadirá NaOH dosificado directamente en el reactor.

Esta etapa contará con un intercambiador de placas externo como sistema calefactor para mantener la temperatura en el interior ($T=35^\circ\text{C}$).

En el proceso se generará biogás, y una corriente de lodos de carácter biológico.

❖ TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO (LODOS ACTIVOS)

Tras el proceso anaerobio, se tratará el agua residual mediante un proceso de lodos activos convencional, de modo que se consiga un agua apta para su vertido a cauce. El proceso estará compuesto por un tanque de aireación y un

sedimentador secundario.

Requerirá de la adición de nutrientes (CINH_4 y NaH_2PO_4) y de aire, que se alimentará a través de difusores situados en la base inferior del tanque de aireación. El agua residual pasará del reactor de aireación al sedimentador secundario, en el que se separarán los lodos del agua tratada y lista para su vertido a cauce.

Parte de los lodos de salida del sedimentador, se recircularán al reactor de aireación y parte se purgarán para mantener constante la concentración de microorganismos en el interior del reactor.

7.3- DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCES DE MATERIA

7.4.1.- Diagrama de flujo

El diagrama de flujo de la línea de tratamiento de aguas residuales propuesta puede consultarse en formato A3 en el apartado 14. Anexos en el Anexo I. Diagramas.

7.4.2.- Balances de materia

En las Tablas 7.1 y 7.2 se muestra la situación de partida y los resultados previstos tras el tratamiento en la línea de aguas propuesta.

Tabla 7.1. Datos de partida

DATOS DE PARTIDA	
Caudal medio, m^3/d	50
Caudal diseño, m^3/d	60
pH	9,3
DQO, mg/L	27400
DBO, mg/L	11500
SST, mg/L	1900
Grasas, mg/L	4100

Tabla 7.2. Resultados previstos

RESULTADOS PREVISTOS		
Parámetro	VLE	Valor salida
pH	5-9	6,7
DQO, mg/L	120	110
DBO, mg/L	25	20
SST, mg/L	35	25
Grasas, mg/L	25	23

En las Tablas 7.3 y 7.4 se muestran las eficiencias de eliminación tomadas como base para el cálculo de los balances de materia, y los resultados del balance de materia aplicado a cada unidad del proceso.



Tabla 7.3. Porcentajes de eliminación estimados por unidad de proceso.

Unidad	Eficiencia de eliminación, %			
	DQO	DBO	SST	Grasas
Tamiz	20	20	15	30
DAF	65	55	98	99
UASB	88	92	25	20
Lodos activos	90	95	20	15

Tabla 7.4. Balances de masa por unidad de proceso. Entrada, salida y residuos.

TAMIZADO	pH	Flujo másico, kg/h	Densidad, kg/m ³	Flujo volumetrico, m ³ /h	Concentración (mg/L)				Flujo másico (kg/h)			
					DQO	DBO	SST	Grasa	DQO	DBO	SST	Grasa
ENTRADA	9,3	60000	1000	60,0	27400	11500	1900,0	4100	1644	690	114	246
SALIDA	9,3	59546	1000	59,5	22087	9270	1627	2892	1315	552	97	172

DAF	pH	Flujo másico, kg/h	Densidad, kg/m ³	Flujo volumetrico, m ³ /h	Concentración (mg/L)				Flujo másico (kg/h)			
					DQO	DBO	SST	Grasa	DQO	DBO	SST	Grasa
ENTRADA	4,0	59574	1000	59,6	22077	9266	1627	2891	1315	552,0	96,9	172,2
SALIDA	4,0	54187	1000	54,2	8495	4584	36	32	460,3	248,4	1,9	1,7
FANGOS ACEITOSOS	4,0	5387	995	5,4	157892	56073	17539	31486	854,9	303,6	95,0	170,5

UASB	pH	Flujo másico, kg/h	Densidad, kg/m ³	Flujo volumetrico, m ³ /h	Concentración (mg/L)				Flujo másico (kg/h)			
					DQO	DBO	SST	Grasa	DQO	DBO	SST	Grasa
ENTRADA	6,7	54187	1000	54,2	8495	4584	35,8	31,8	460,3	248,4	1,9	1,7
SALIDA	6,7	53508	1000	53,5	1032,3	371,4	27,2	25,7	55,2	19,9	1,5	1,4
FANGOS BIOLÓGICOS	6,7	679	1005	0,7	600000	338492	717,6	510,1	405,1	228,5	0,5	0,34

LODOS ACTIVOS	pH	Flujo másico, kg/h	Densidad, kg/m ³	Flujo volumetrico, m ³ /h	Concentración (mg/L)				Flujo másico (kg/h)			
					DQO	DBO	SST	Grasa	DQO	DBO	SST	Grasa
ENTRADA	6,7	53508	1000	53,5	1032,3	371,4	27,2	25,7	55,2	19,9	1,5	1,4
SALIDA	6,7	51520	1000	51,6	107,1	19,3	22,5	22,7	5,5	1,0	1,2	1,2
FANGOS BIOLÓGICOS	6,7	1989	1005	2,0	25125	9541	146,9	104,4	49,7	18,9	0,3	0,21

A continuación se recoge en las **Tablas 7.5-7.11** el cálculo de los reactivos añadidos en la línea de tratamiento de aguas, a partir de las dosis y los valores de pH fijados. Se muestra el flujo másico y volumétrico de cada corriente de reactivo añadida, indicando la corriente del diagrama de flujo con que se corresponden.

Tabla 7.5. Tanque de homogeneización: Adición de H₂SO₄.

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN	
ADICIÓN DE H ₂ SO ₄ (CORRIENTE 5)	
<i>pH fijado para coagulación = 6,5</i>	
(pH) _{inicial}	9,3
Adición H ⁺ , mol/h	0,02
H ₂ SO ₄ , mol/h	0,01
H ₂ SO ₄ , g/h	0,92
H ₂ SO ₄ (98%), g/h	0,94
Caudal H ₂ SO ₄ (98%), mL/h	0,52

En el tanque de homogeneización se añadirá H₂SO₄ hasta alcanzar pH=6,5; adecuado para el correcto funcionamiento del FeCl₃ como coagulante.

Tabla 7.6. Coagulación: Adición de FeCl₃ y NaOH.

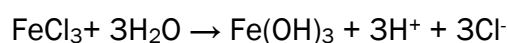
PROCESO DE COAGULACIÓN			
<i>Dosis fijada FeCl₃ = 100 mg/L</i>			
Adición de FeCl ₃ (CORRIENTE 7)		Adición de NaOH (CORRIENTE 8)	
FeCl ₃ , mol/h	36,7	NaOH, mol/L	0,0017
FeCl ₃ , kg/h	6,0	NaOH, kg/h	4,2
FeCl ₃ al 40%, kg/h	14,9	NaOH al 50%, kg/h	8,3
FeCl ₃ al 40%, m ³ /h	0,011	NaOH al 50%, m ³ /h	0,005

El cloruro férrico comercialmente se suministra en forma sólida (cristalina o anhidra) o líquida con concentraciones del orden del 33 al 40% [44]. Se utilizará FeCl₃ en disolución al 40%.

El rango de pH que permite la actuación adecuada del FeCl₃ como coagulante se encuentra entre 4 y 7 [44], y las dosis medias de este reactivo utilizado como coagulante entre 35 y 150 ppm [44].

Se fija la dosis de FeCl₃ en 100 ppm, y se calcula el flujo másico y volumétrico de FeCl₃ al 40% a partir de esta dosis y del caudal a tratar.

La reacción que tiene lugar al añadirse el cloruro férrico es la siguiente:



Al liberarse iones H^+ , el pH disminuye pudiendo dar lugar a que la reacción de coagulación no se produzca o no tenga lugar de forma correcta si se alcanzan valores de $pH < 4$. Con el fin de no dejar caer el valor de pH por debajo de $pH = 4$ se dosificará sosa en el mismo mezclador estático.

Por cada mol de $FeCl_3$, se producen 3 moles de H^+ . Para $pH = 4$ la concentración de iones H^+ es de $0,0001 \text{ mol/L}$. Para $pH = 6,5$ la concentración de iones H^+ es de $3,16 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$. Por tanto sin bajar de $pH = 4$ podrían generarse hasta $[H^+] = 9,97 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$. Sin embargo, por cada mol añadido de $FeCl_3$ se generan 3 moles de iones H^+ , es decir $[H^+] = 0,00185 \text{ mol/L}$. La diferencia se neutralizará con NaOH, siendo necesario añadir $8,3 \text{ kg/h}$ de NaOH al 50%.

Las principales propiedades físicas y químicas de los reactivos utilizados pueden consultarse en sus respectivas fichas de seguridad en el apartado 14. Anexos en el Anexo II. Seguridad: Fichas técnicas y de seguridad.

Tabla 7.7. Floculación: Adición de Floculante (SIFLOC 1080D)

FLOCULACIÓN	
<i>Dosis fijada SIFLOC 1080D = 3,7 mg/L (CORRIENTE 9)</i>	
Flujo volumétrico de agua residual a tratar, m^3/h	59,5
Flujo másico de floculante, kg/h	0,22
Floculante disolución al 5%, kg/h	4,41
Floculante disolución al 5%, m^3/h	0,004

El polielectrolito elegido como floculante será SIFLOC 1080D^[68], sus características y propiedades pueden consultarse en su ficha técnica incluida en el apartado 14. Anexos en el Anexo II. Fichas técnicas y de seguridad.

Tabla 7.8. Ajuste pH previo tratamiento biológico: Adición de NaOH.

REQUERIMIENTOS DE pH. Tratamiento biológico	
ADICIÓN DE NaOH (CORRIENTE 15)	
<i>pH fijado para biológico = 6,7</i>	
$(pH)_{\text{inicial}}$	4
OH^- , mol/L	$5,0E-08$
NaOH, mol/h	0,003
NaOH, g/h	0,11
NaOH (50%), g/h	0,22
NaOH (50%), mL/h	0,14

Tabla 7.9. Adición de nutrientes para el proceso anaerobio. Reactor UASB.

REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES. Nitrógeno y fósforo. REACTOR UASB			
Requerimientos fijados:	g N /kg DQO =15		
	g P /kg DQO = 3		
CINH ₄ (CORRIENTE 16)		NaH ₂ PO ₄ (CORRIENTE 17)	
DQO, kg/h	460	DQO, kg/h	460
Nitrógeno, g/h	6904,8	Fósforo, g/h	1381
CINH ₄ 99,5% sólido, kg/h	26,5	NaH ₂ PO ₄ 99%, kg/h	5,4
Dis. CINH ₄ 25%, kg/h	106,1	Dis. NaH ₂ PO ₄ 80%, kg/h	6,8
Dis. CINH ₄ 25%, m ³ /h	0,08	Dis. NaH ₂ PO ₄ 80%, m ³ /h	0,004

Tabla 7.10. Requerimientos de alcalinidad: Adición de NaOH.

REQUERIMIENTOS DE ALCALINIDAD. NaOH (CORRIENTE 18)	
Parámetros fijados	
[CO ₂ g], atm	0,3
K _H (35°), atm/mol	38
K _{a,1} (35°)	5,00E-07
pH	6,7
Alcalinidad inicial, mg CaCO ₃ /L	0
Alcalinidad requerida, mgCaCO ₃ /L	1000
Dosificación de NaOH	
Alcalinidad requerida, mg NaOH/L	800
Alcalinidad requerida, kg NaOH/m ³	0,80
Alcalinidad requerida, kg NaOH/h	43,3
NaOH 50%, kg/h	86,7
NaOH 50%, m ³ /h	0,06

Debido a que el agua residual es deficiente en nutrientes, no posee capacidad tampón ^[72] y el pH aproximado en la salida de la unidad de flotación es pH=4, es fundamental la adición de los nutrientes esenciales, así como la corrección del pH y el ajuste de la alcalinidad mediante la adición de alcalinizantes que permitan generar capacidad tampón.

En cuanto a la alimentación de nutrientes, una de las ventajas de la digestión anaerobia es la baja necesidad de nutrientes, derivada de su pequeña velocidad de crecimiento. Los principales nutrientes son N y P. Una relación teórica aceptable es ^[71]:

$$DQO:N:P = 100:1,5:0,3$$

El acondicionamiento tanto en pH como en alcalinidad, se realiza con NaOH al

50% en ambos casos. Primero se añade NaOH para neutralizar la acidez media del agua residual hasta conseguir un pH=6,7. La mezcla del agua residual con el NaOH se realizará en un mezclador estático en el transcurso de la tubería de conducción al reactor, en el que se añadirán también las fuentes de nutrientes: CINH_4 y NaH_2PO_4 . Ambos reactivos se suministran comercialmente en polvo, siendo su solubilidad en agua 283 g/L y 850 g/L a 20°C respectivamente. Se prepararán y añadirán al mezclador estático disoluciones de CINH_4 del 25% y de NaH_2PO_4 del 80%, para garantizar que todo el reactivo se solubiliza en el agua residual en ambos casos.

La concentración adicional de alcalinidad que garantice la suficiente capacidad tampón durante el tratamiento anaerobio se suministra después en el propio reactor.

Para porcentajes normales de CO_2 en el gas del digestor [39], 24-45%, se requiere una alcalinidad de al menos 500-900 mg CaCO_3 /L para mantener el pH por encima de pH=6,5. Suponiendo una $[\text{CO}_2(g)] = 0,30$ atm y según:

$$pH = pK_{a,1} + \log \left(\frac{\text{Alcalinidad (bicarb.)}}{\frac{50000}{\frac{[\text{CO}_2(g)]}{K_H}}} \right) \quad [\text{Ec.7.1}]$$

Siendo:

$$K_{a,1} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ (35°C)}$$

$$K_H = 38 \text{ atm/mol (35°C)}$$

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L}$$

La alcalinidad necesaria en mg CaCO_3 /L para mantener un pH=6,7 será de 1000 mg CaCO_3 /L, lo que equivale siendo el peso específico del NaOH= 84 g/mol a 800 mg NaOH/L.

Con la adición de NaOH para cubrir los requerimientos de alcalinidad se debe atender a los problemas de generación de vacío que puede causar este reactivo por el consumo de CO_2 , sin embargo, este reactivo consigue subir el pH de forma más rápida y su coste es inferior al de otras sustancias alcalinizantes como el NaHCO_3 , siendo además necesario añadir una cantidad inferior de NaOH respecto a la necesaria de NaHCO_3 .

Tabla 7.11. Adición de nutrientes para el proceso aerobio. Fangos activos.

REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES. Nitrógeno y fósforo. FANGOS ACTIVOS			
Requerimientos fijados:		g N /kg DQO = 50	
		g P /kg DQO = 10	
CINH ₄ (CORRIENTE 23)		NaH ₂ PO ₄ (CORRIENTE 24)	
DQO, kg/h	55	DQO, kg/h	55
Nitrógeno, g/h	2762	Fósforo, g/h	552,4
CINH ₄ 99,5%, kg/h	10,6	NaH ₂ PO ₄ 99%, kg/h	2,2

La dosificación de nutrientes al proceso de fangos activos se calcula a partir de la relación mínima de requerimiento de nutrientes, que se fija en ^[43] ^[73]:

$$\text{DQO:N:P} = 100:5:1$$

A continuación se muestra el cálculo de los fangos generados en la línea de tratamiento de aguas.

Residuos de desbaste (CORRIENTE 3):

$$\dot{m}_{\text{residuos desbaste}} = \frac{\dot{m}_c}{c_{c,f}} \quad [\text{Ec 7.2}]$$

Siendo:

\dot{m}_c = carga contaminante en el residuo de desbaste, kg/h

$c_{c,f}$ = concentración de la carga contaminante en el residuo, %

$$\dot{m}_c = \dot{m}_{\text{SST}} + \dot{m}_{\text{grasas}} = 90,9 \text{ kg/h}$$

$$c_{c,f} = 20 \%$$

$$\text{Se obtiene: } \dot{m}_{\text{residuos desbaste}} = 454 \text{ kg/h}$$

Fangos aceitosos (CORRIENTE 11):

$$\dot{m}_{\text{fangos aceitosos}} = \frac{\dot{m}_c}{c_{c,f}} \quad [\text{Ec 7.3}]$$

Siendo:

\dot{m}_c = Carga contaminante en los fangos aceitosos, kg/h

$c_{c,f}$ = Concentración de la carga contaminante en los fangos, %

$$\dot{m}_c = \dot{m}_{\text{SST}} + \dot{m}_{\text{grasas}} + \dot{m}_{\text{FeOH}_3} = 269,4 \text{ kg/h}$$

$$c_{c,f} = 5 \%$$

$$\text{Se obtiene: } \dot{m}_{\text{fangos aceitosos}} = 5387 \text{ kg/h}$$

Fangos biológicos:

Se purgará la cantidad de microorganismos generados con el objetivo de mantener la concentración constante en los reactores. Se calcularán los fangos purgados a partir de la producción de microorganismos, siendo:

En el reactor UASB: $Q_{Fangos\ anaerobios} = \frac{P_x}{X} = \frac{Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{X}$ [Ec 7.4]

En el reactor de lodos activos: $Q_{Fangos\ aerobios} = \frac{P_x}{X_w} = \frac{Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{X_w}$ [Ec 7.5]

Siendo:

Y = Rendimiento celular, kg SSVLM /kg DQO eliminada

Q = Caudal de entrada, m³/h

S₀ = Concentración de DQO en el influente, mg/L

S = Concentración de DQO en el efluente, mg/L

P_x = Producción diaria de microorganismos, kg/d

X = Concentración de microorganismos en el reactor UASB, mg/L

X_w = Concentración de microorganismos en la purga de lodos activos, mg/L

Sustituyendo:

UASB

Y = 0,04

Q = 54,2 m³/h

S₀ = 8495 mg/L

S = 1032 mg/L

P_x = 388,9 kg/d

$Q_{Fangos\ anaerobios} = 0,68\ m^3/h$

Lodos activos

Y = 0,4

Q = 53,5 m³/h

S₀ = 1032 mg/L

S = 107,1 mg/L

P_x = 477,3 kg/d

$Q_{Fangos\ aerobios} = 1,9\ m^3/h$

Obteniéndose un total de: $Q_{Fangos\ biológicos} = 2,6\ m^3/h$

7.4- DIMENSIONADO DE EQUIPOS

Se muestran a continuación los resultados del dimensionado de cada equipo de la línea de aguas, incluyendo los parámetros de diseño fijados, resultados del dimensionado y procedimiento de cálculo.

7.4.1.- Rejas

Se dimensionará una reja de finos y de limpieza automática mediante rastrillo para proteger los equipos de bombeo e instalaciones posteriores de la línea de aguas frente a sólidos inesperados de gran tamaño.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.12** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado de las rejas de finos.

Tabla 7.12. Parámetros de diseño. Rejas de finos.

<i>PARÁMETROS DE DISEÑO</i>			
Parámetro		Rango típico	Valor
$Q_d, m^3/h$	Caudal de diseño	-	60
$v_{pc}, m/s$	Velocidad de paso a caudal de diseño y $c=30\%$	0,6-1,1	0,9
n	Número de líneas de desbaste	-	1
e, mm	Espesor de los barrotes	5-15	10
E, mm	Distancia entre barrotes	15-75	15
R, m	Resguardo del canal	0,3-0,5	0,4
$\alpha, ^\circ$	Áng. de inclinación entre reja y solera del canal	60-90	60
$C, \%$	Máxima colmatación entre dos limpiezas	30	30
R_{pa}	Relación profundidad útil/anchura del canal	1	1/1.5

En la **Tabla 7.13.** se recogen los resultados del dimensionado de las rejas de finos así como las expresiones utilizadas en cada caso.

Tabla 7.13. Dimensionado básico. Reja de finos.

REJA DE FINOS			
Parámetro		Ecuación	Valor
Q_{dL} , m ³ /h	Caudal de diseño por línea	$\frac{Q_d}{n}$	60
V , m/s	Velocidad de paso a caudal de diseño con reja limpia	$v_{pc} * \left(\frac{100 - C}{100}\right)$	0,63
S_u , m ²	Superficie útil del canal	$\left(\frac{Q_{dL}}{v_{pc}}\right) \cdot \left(\frac{E + e}{E}\right) \cdot \frac{1}{C} \frac{1}{\text{sena}}$	0,05
v , m/s	Velocidad de aproximación a caudal de diseño	$\frac{Q_{dL}}{S_u}$ Rango: 0,3-0,6 m/s	√ 0,33
A_c , m	Anchura del canal	$(S_u/R_{pa})^{0,5}$ Siempre > 0,3 m por mantenimiento	√ 0,32
P_u , m	Profundidad útil del canal	S_u/A_c	0,16
P , m	Profundidad total del canal	$P_u + R$	0,56
H , mca	Pérdida de carga	$H = \frac{v^2(m/s) - v^2(m/s)}{2g(m/s^2) * C}$, $H < 0,15$ mca	√ 0,05

- El **material** de la reja será acero inoxidable AISI 304 y su instalación se llevará a cabo en un **canal** de sección rectangular, de fondo liso con ligera pendiente descendente en la dirección del flujo, y en tramo recto, con el fin de conseguir que la velocidad de aproximación sea lo más homogénea posible, ya que la existencia de turbulencias en las cercanías puede hacer que atraviesen la reja sólidos que en otras condiciones quedarían retenidos.
- Se instalarán **compuertas de aislamiento** en cada canal antes y después de la reja, con el fin de poder proceder a su reparación en caso de avería o mantenimiento.

7.4.2.- Tamiz

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.14** se muestran los parámetros de diseño fijados para la selección del tamiz.

Tabla 7.14. Parámetros de diseño. Tamiz

PARÁMETROS DE DISEÑO		
Q_d , m ³ /h	Caudal de diseño	60
a, mm	Luz de paso	1

Se seleccionará entre las unidades de tamizado disponibles en el mercado aquella de menor tamaño y por tanto menor coste entre las que cumplen con las necesidades de capacidad de tratamiento y luz de paso.

Consideraciones:

Tipo rotativo y mallas de rejilla ^[64]

Selección:

Tamiz rotativo Serie 40, modelo TR 40/50 con malla de rejilla y luz de paso 1 mm de la marca Toro Defender.

Las especificaciones técnicas referentes al equipo TR 40/50 pueden consultarse en la **Figura 7.1** y **Tablas 7.15** y **7.16**.

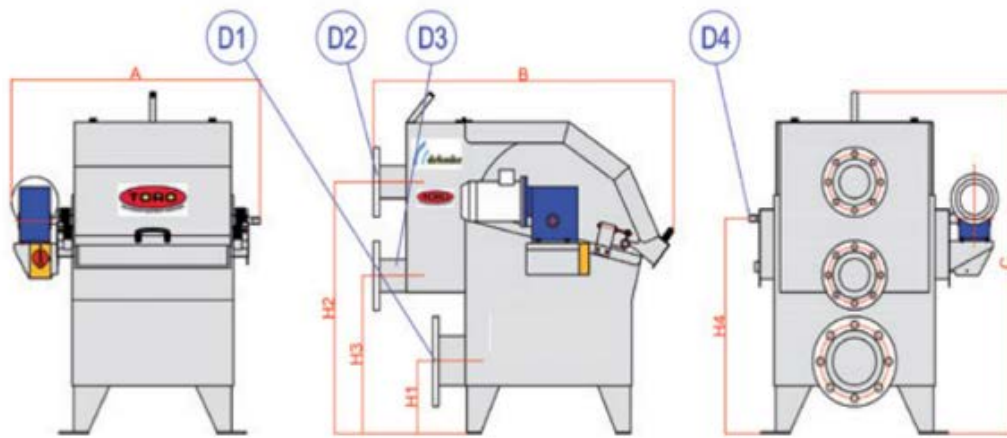


Figura 7.1. Especificaciones tamiz rotativo TR 40/50.



Tabla 7.15. Especificaciones técnicas para tamices rotativos Serie 40 de Defender [64].

Gama 40 - Especificaciones Técnicas, mm (in)														
Modelo	Diámetro Tambor	Longitud Tambor	Potencia Kw / HP	A	B	C	Salida		Rebose		Entrada		Limpieza	
							D1	H1	D2	H2	D3	H3	D4	H4
TR 40/25	400 (15 3/4)	250 (9 7/8)	0.25 (0.33)	600 (23 5/8)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 100 ANSI 4"	209 (8 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	1/2"	678 (26 3/4)
TR 40/50	400 (15 3/4)	500 (19 5/8)	0.25 (0.33)	850 (33 1/2)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 150 ANSI 6"	234 (9 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	1/2"	678 (26 3/4)
TR 40/75	400 (15 3/4)	750 (29 1/2)	0.25 (0.33)	1,100 (43 1/4)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 200 ANSI 8"	Inferior	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 150 ANSI 6"	532 (21)	1/2"	678 (26 3/4)

Tabla 7.16. Caudales máximos de tratamiento para tamices rotativos Serie 40 de Defender [64].

Gama 40 - Caudales Máximos Agua Limpia, m ³ /h (US gpm)									
Luz de Malla	Malla de Rejilla ▼▼, mm (in)						Malla Perforada Ø, mm (in)		
Modelo	0.15 (0.006)	0.25 (0.01)	0.50 (0.02)	0.75 (0.03)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	3.00 (0.12)
TR 40/25	7 (30)	11 (47)	19 (83)	25 (110)	30 (132)	30 (132)	9 (38)	17 (74)	17 (74)
TR 40/50	14 (61)	21 (94)	36 (165)	50 (220)	60 (264)	60 (264)	18 (78)	35 (153)	35 (153)
TR 40/75	21 (91)	32 (141)	56 (248)	75 (331)	90 (397)	90 (397)	27 (118)	52 (231)	52 (231)



El equipo constará de los siguientes elementos:

- **TAMBOR FILTRANTE** construido en acero inoxidable. Malla de rejilla. Diámetro 0,4 m. Retiene en la superficie exterior los sólidos de tamaño superior a 1 mm e impide la formación de cúmulos en el interior.
- **CUERPO DE FILTRO**, en el que se fija el tambor filtrante en su parte delantera mediante rodamientos. En la parte posterior dispone del depósito receptor del agua sin tamizar.
- **RASQUETA LIMPIADORA** que elimina los sólidos depositados en la cara exterior del tambor filtrante.
- **GRUPO DE ACCIONAMIENTO**, consiste en un motorreductor de potencia $P=0,25$ Kw, acoplado directamente sobre el eje del tambor filtrante, proporcionándole su movimiento de rotación.
- **DEPÓSITO AGUA TAMIZADA**, se sitúa debajo del cuerpo de filtro. Recoge el líquido filtrado, que es evacuado.
- **SISTEMA DE LIMPIEZA**, situado en el interior del tambor filtrante, provisto de toberas que proyectan agua a presión sobre la cara interior del cilindro efectuando una completa limpieza.



Figura 7.2. Tamiz rotativo Defender [64]

- Se incorporará una **conexión para agua** en las proximidades, para **limpieza** de la **superficie filtrante**.
- Se instalarán **compuertas de aislamiento** en cada canal antes y después del tamiz, con el fin de poder proceder a su reparación en caso de avería o mantenimiento.
- Se contará con un **equipo de rejas y tamizado** de las mismas características situados **en un canal de bypass**, de forma que se cubran las necesidades de tratamiento de la planta en caso de avería o

mantenimiento de los equipos situados en el canal principal.

- En la zona de pretratamiento sobre todo en verano con altas temperaturas, puede producirse la generación de **olores desagradables**, por lo que la instalación tanto de las rejas como de los tamices se realizará en un recinto cerrado con sistema de extracción y tratamiento de olores.

7.4.3.- Tanque de homogeneización

Se diseñará un sistema de homogeneización en línea, en el que todo el caudal afluyente pasará por el tanque de homogeneización. Para disminuir el pH desde su valor medio de entrada (pH=9,8), hasta el apropiado para el proceso de coagulación posterior (pH=6,5), se añadirá directamente en el tanque de homogeneización H_2SO_4 al 98%.

La dosificación de los reactivos se controlará mediante sondas de pH colocadas en la entrada y salida del tanque de homogeneización, las cuales regularán el funcionamiento de la bomba de dosificación de H_2SO_4 en función de los valores de pH medidos y la consigna definida (pH=6,5).

Adición de reactivos

El flujo de H_2SO_4 necesario para disminuir el pH de la corriente de agua residual desde pH=9,8 hasta pH=6,5 en el tanque de homogeneización se calcula en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia* y será de **0,52 mL/h**.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.17** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado del tanque de homogeneización.

Tabla 7.17. Parámetros de diseño. Tanque de homogeneización

PARÁMETROS DE DISEÑO		
Q_d , m ³ /h	Caudal de diseño	60
t_{res} , h	Tiempo de residencia	1

Consideraciones:

$$L = D_{TH} \quad [39] \quad [Ec.7.6]$$

$$L_{TH} = L + 0,3 \quad [44] \quad [Ec.7.7]$$

Siendo: L = Altura del líquido en el tanque, L_{TH} = Altura del tanque.

Tabla 7.18. Dimensionado básico. Tanque de homogeneización

TANQUE HOMOGENEIZACIÓN		
V, m^3	Volumen del tanque	64,3
D_{TH}, m	Diámetro del tanque de homogeneización	4,2
L_{TH}, m	Altura del tanque de homogeneización	4,5
L, m	Altura del líquido en el tanque	4,2
P, kW	Potencia de agitación	3,6

Los pasos realizados hasta obtener los resultados recogidos en la **Tabla 7.18.** se resumen a continuación:

- En base al caudal de diseño y el tiempo de residencia se calcula la capacidad del tanque de homogeneización:

$$V = Q_d \cdot t_{res} \quad [\text{Ec.7.8}]$$

Se obtiene: $V = 60 m^3$.

- El **diámetro del tanque** se calcula a partir de la expresión para el volumen, considerando la altura de líquido en el tanque igual al diámetro:

$$V = \frac{\pi D_{TH}^2}{4} \cdot L \rightarrow D_{TH} = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \quad [\text{Ec.7.9}]$$

Se obtiene: $D_{TH} = 4,2 m$ y por tanto la altura del líquido en el tanque será $L = 4,2 m$.

- La **altura del tanque** será 0,3 m superior ^[44] a la altura de líquido en el tanque:

$$L_{TH} = L + 0,3 = 4,5 m \quad [\text{Ec.7.10}]$$

- Por lo que el **volumen real del tanque** de homogeneización será (para $D_{TH} = 4,2m$ y $L_{TH} = 4,5 m$):

$$V_{TH} = \frac{\pi D_{TH}^2}{4} \cdot L_{TH} = 64,3 m^3 \quad [\text{Ec.7.11}]$$

- La agitación se llevará a cabo mediante agitadores mecánicos. La **potencia de agitación media requerida** cuando se usan este tipo de dispositivos es de 0,04 - 0,06 kW/m³ ^[39]. Escogiendo un factor intermedio de 0,06 kW/m³, la potencia de agitación necesaria será:

$$P = 0,06 Q_d = 3,6 kW \quad [\text{Ec.7.12}]$$

7.4.4.- Coagulación

El proceso de coagulación se llevará a cabo en un mezclador estático utilizando como coagulante cloruro férrico al 40%. La reacción de FeCl_3 y agua generará iones H^+ que provocarán una caída en el valor de pH. Para evitar que el pH caiga por debajo de $\text{pH}=4$ (inadecuado para que se produzca la coagulación) se añadirá NaOH al 50%.

Adición de reactivos

El flujo de FeCl_3 necesario para llevar a cabo el proceso de coagulación, utilizando una dosis de 100 mg/L de FeCl_3 se calcula en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia*, y será de **0,011 m³/h**.

El flujo de NaOH necesario para mantener el pH durante el proceso de coagulación se calcula en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia*, y será de **0,005 m³/h**.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.19** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado del mezclador estático.

Tabla 7.19. Parámetros de diseño. Mezclador estático

PARÁMETROS DE DISEÑO		
Q_d , m ³ /h	Caudal de diseño	60
v , m/s	Velocidad de paso del agua residual	0,3

Tabla 7.20. Dimensionado básico. Mezclador estático

MEZCLADOR ESTÁTICO		
Tipo	KVM (líquidos en flujo turbulento)	
D , mm	Diámetro del mezclador	273
L , mm	Longitud del mezclador	683
V , m ³	Volumen del mezclador	0,04
n	Número de elementos internos	2
p	Número de puertos de conexión	2
t_{res} , s	Tiempo de residencia	2,5

Los pasos realizados hasta obtener los resultados recogidos en la **Tabla 7.20.** se resumen a continuación:

- El **diámetro del mezclador** viene dado por el diámetro de la tubería en que se instalará. Para el cálculo de este diámetro se considera que:

- El flujo de agua residual llegará desde el tanque de homogeneización hasta el mezclador estático a través de una única tubería.
- Teniendo en cuenta un caudal: $Q_d = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ y una velocidad de paso por tubería de $v = 0,3 \text{ m/s}$, se calcula el área transversal de la tubería (A), y el diámetro (D), obteniéndose: $D = 270 \text{ mm}$.
- Se considera el diámetro nominal más próximo: $DN = 273 \text{ mm}$.
- Recalculando la velocidad de paso por la tubería para $D = 273 \text{ mm}$ se obtiene: $v = 0,28 \text{ m/s}$, adecuada.

Por lo tanto: *Diámetro del mezclador estático: $D = 273 \text{ mm}$*

- El **tipo de mezclador** y el **número de elementos** internos se selecciona en función del régimen de flujo del fluido que lo atraviesa.
 - Se determina el régimen de flujo a partir del número de Reynolds: $Re = 76861 \rightarrow$ **Flujo turbulento**
 - Conociendo Re , se determina el número de elementos necesarios en el mezclador a partir de los datos recogidos en la **Tabla 7.21**.

Tabla 7.21. Elección del número de elementos del mezclador ^[65].

Flow Regime	Reynold's Number (Re)	No. of Element	Number of Elements to add if Viscosity ratio between fluids exceeds 1000:1	Number of Elements to add if Volumetric ratio between fluids exceeds 100:1
Laminar	<1	24	6	6
	1-10	18	6	6
	11-50	14	6	6
	51-100	12	6	6
	101-500	10	6	6
Transitional	501-1000	8	4	4
	1001-2000	6	4	4
Turbulent	2001-5000	4	2	2
	5001 +	2	2	2

Por lo tanto: *Número de elementos internos: $n = 2$*

El **tipo de mezclador** escogido será **KVM**, señalado dentro de las mejores opciones para mezcla líquido-líquido en régimen de flujo turbulento ^[66].

- La **longitud del mezclador** se puede aproximar en función del número de elementos. En el caso del mezclador KVM, los elementos se sitúan a 2,5

[67] veces el diámetro unos de otros axialmente.

Por lo tanto: *Longitud del mezclador: $L = 683 \text{ mm}$.*

- Se podrá calcular el **volumen del mezclador** al ser conocidos diámetro (D) y longitud (L).

Por lo tanto: *Volumen del mezclador: $V = 0,04 \text{ m}^3$*

- El mezclador contará con **2 puertos de conexión**, para la adición de FeCl_3 y NaOH respectivamente.

- Por último se calcula el **tiempo de residencia** a partir del caudal de diseño (Q_d) y del volumen (V):

$$t_{res} = V/Q_d \quad [\text{Ec.13}]$$

Por lo tanto: *Tiempo de residencia: $t_{res} = 2,5 \text{ s}$*

Que se ajusta a los tiempos mínimos requeridos para un mezclado rápido en un proceso de coagulación (1-3 s [70]).

7.4.5.- Floculación

Adición de reactivos

El **flujo de polielectrolito (SIFLOC 1080D)** necesario para el proceso de floculación se calcula en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia* y será de $0,004 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.22** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado de la cámara de floculación.

Tabla 7.22. Parámetros de diseño. Cámara de floculación

PARÁMETROS DE DISEÑO		
$Q_d, \text{ m}^3/\text{h}$	Caudal de diseño	60
$t_{res}, \text{ min}$	Tiempo de residencia	25

Tabla 7.23. Dimensionado básico. Cámara de floculación

CÁMARA DE FLOCULACIÓN		
$D, \text{ m}$	Diámetro de la cámara de floculación	3,3
$L, \text{ m}$	Altura de la cámara de floculación	3,6
$V, \text{ m}^3$	Volumen de la cámara de floculación	31,35
$P, \text{ kW}$	Potencia de agitación	0,162

Los pasos realizados hasta obtener los resultados recogidos en la **Tabla 7.23**. se resumen a continuación:

- Se determina **volumen de la cámara** a partir del tiempo de retención y del caudal de diseño:

$$V = Q_d \cdot t_{res} \quad [\text{Ec.7.14}]$$

El volumen se determina para el caudal medio y caudal de diseño. El volumen de la cámara de floculación corresponderá con el mayor valor, en este caso para caudal de diseño: $V = 25 \text{ m}^3$.

Por seguridad se sobredimensiona el volumen de la cámara de floculación en un 15% ^[44] del volumen teórico obtenido. Así, se obtiene un volumen para la cámara de floculación de: $V = 28,75 \text{ m}^3$.

- Se calcula el **diámetro de la cámara** a partir de la expresión para el volumen considerando que $D = L$ ^[44]:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \quad [\text{Ec.7.15}]$$

Se obtiene: $D = 3,3 \text{ m}$

- La **altura de la cámara** será 30cm ^[44] superior para evitar salpicaduras debidas a la agitación del agua.

Se obtiene: $L = 3,6 \text{ m}$

Por lo que el **volumen real** de la cámara de floculación, siendo $D_{cf} = 3,3 \text{ m}$ y $L_{cf} = 3,6 \text{ m}$ será:

$$V = 31,35 \text{ m}^3$$

- La **potencia necesaria para la agitación** se calcula en función del gradiente de velocidad G , que para procesos de floculación toma valores en un rango entre 10-90 s^{-1} .

La agitación precisará ser muy suave con el fin de no romper los flóculos formados. Se llevará a cabo mediante agitadores mecánicos de baja velocidad.

Para un valor intermedio, $G = 70 \text{ s}^{-1}$, podrá conocerse la potencia necesaria a partir de la expresión:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \rightarrow P = G^2 \mu V \quad [\text{Ec 7.16}]$$

Siendo la viscosidad dinámica del agua a $T=18^\circ\text{C}$: $\mu = 0,001054 \text{ Ns/m}^2$ ^[69], se obtiene un valor de potencia:

$$P = 162 \text{ W}$$

7.4.6.- Flotación por aire disuelto

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.24** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado de la cámara de flotación.

Tabla 7.24. Parámetros de diseño. Cámara de flotación

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Parámetros		Rango típico	Valor
Q , m ³ /h	Caudal de entrada	-	60
t_{res} , min	Tiempo de residencia	20-60	25
A/S , kg Aire/kg SST	Parámetro aire-sólidos	0,005-0,06	0,012
CH , m ³ /m ² h	Carga hidráulica	6-8	7
P , atm	Presión	2-8	5
X_s^1 , cm ³ /L	Solubilidad aire en agua (T=18°C, P=1atm)	-	13,66
e , %	Eficiencia difusores aire	20-30	25

En la **Tabla 7.25.** se recogen los resultados del dimensionado de la cámara de flotación así como las expresiones utilizadas en cada caso.



Tabla 7.25. Dimensionado básico. Cámara de flotación

CÁMARA DE FLOTACIÓN			
Parámetro		Ecuación	Valor
\dot{m}_{cont} , kg/h	Carga contaminante	$\dot{m}_{cont} = \dot{m}_{SST} + \dot{m}_{grasas} + \dot{m}_{FeOH_3}$	273
A , m ³ /h	Necesidad de aire	$A = \frac{A/S \cdot \dot{m}_{cont}}{\rho_{aire}}$	9,1
X_s^5 , kg/m ³	Solubilidad aire en agua (T=18°C, P=5 atm)	$X_s^5 = P X_s^1$	0,082
R , m ³ /h	Recirculación	$R = \frac{A \text{ (kg/h)}}{X_s^5 \text{ (kg/m}^3)}$	133,2
Q_d , m ³ /h	Caudal de diseño	$Q_d = Q + R$	193,2
S , m ²	Área de flotación	$S = \frac{Q_d}{CH}$	27,6
V , m ³	Volumen de la cámara de flotación	$V = Q_d \cdot t_{res}$	80,5
h , m	Altura de la cámara de flotación	$h = \frac{V}{S}$	2,9
W , m	Anchura de la cámara de flotación	(a partir de área de flotación)	4
L , m	Largura de la cámara de flotación	(a partir de área de flotación)	7

Los pasos realizados hasta obtener los resultados recogidos en la **Tabla 7.25.** se resumen a continuación:

- Se determina **carga contaminante** como:

$$\dot{m}_{cont} = \dot{m}_{SST} + \dot{m}_{grasas} + \dot{m}_{FeOH_3} \quad [Ec.7.17]$$

Conocidos $\dot{m}_{SST} = 96,9$ kg/h y $\dot{m}_{grasas} = 172,2$ kg/h, la cantidad de Fe(OH)₃ precipitado se calcula por estequiometría:

- Moles de FeCl₃ = moles de Fe(OH)₃ = 36,7 mol/h.
- Conocido PM(Fe(OH)₃) = 106,87 g/mol.

Se obtiene: $\dot{m}_{FeOH_3} = 3,92$ kg Fe(OH)₃/h

Y por tanto: $\dot{m}_{cont} = 273$ kg/h.

- Se calcula la **necesidad de aire** a partir del parámetro A/S y de la carga contaminante (\dot{m}_{cont}):

A/S = 0,01 ml aire/mg SST = 0,012 kg aire/kg SST.

$$A \text{ (kg/h)} = A/S \cdot \dot{m}_{cont} \quad [Ec.7.18]$$

$$A \text{ (m}^3\text{/h)} = A \text{ (kg/h)} / \rho_{aire} \quad [Ec.7.19]$$

Se obtiene: **A (kg/h) = 10,9 kg/h** y **A (m³/h) = 9,1 m³/h.**

- Se calcula la **recirculación** a partir de la necesidad de aire calculada y la solubilidad del aire en agua a T= 18°C y presión de trabajo P = 5 atm.

Según la ley de Raoult:

$$X_s^p = P X_s^1 \quad [Ec.7.20]$$

Siendo $X_s^1 = 19,52$ cm³/L (T=18°C, P=1 atm) se tiene en cuenta que el valor en agua residual será inferior al valor teórico (valor real= 0,7valor teórico) y se obtiene: $X_s^1 = 13,66$ cm³/L (T=18°C, P=1 atm). Para P=5 atm, se obtiene: $X_s^5 = 0,082$ kg aire /m³ agua (T=18°C, P=5 atm).

$$R = \frac{A \text{ (kg/h)}}{X_s^5 \text{ (kg/m}^3\text{)}} \quad [Ec.7.21]$$

Se obtiene: **R = 133,2 m³/h**

- El **caudal de diseño** para la cámara de flotación, será:

$$Q_d = Q + R \quad [Ec.7.22]$$

Se obtiene: **Q_d = 193,2 m³/h**

- Se calcula el **área de flotación** según la expresión:

$$S = \frac{Q_d}{CH} \quad [Ec.7.23]$$

Se obtiene: **S=27,6 m².**

- Se calcula el volumen de la cámara de flotación a partir del caudal de diseño y el tiempo de residencia:

$$V = Q_d \cdot t_{res} \quad [\text{Ec.7.24}]$$

Se obtiene: $V = 80,5 \text{ m}^3$

- Se calcula la altura de la cámara de flotación a partir del volumen de la cámara de flotación:

$$h = \frac{V}{S} \quad [\text{Ec.7.25}]$$

Se obtiene: $h = 2,9 \text{ m}$

- Siendo el área de la superficie de flotación $S=27,6 \text{ m}^2$, el tanque de flotación tendrá dimensiones de 4×7 , siendo: $W=4\text{m}$ y $L=8\text{m}$.

7.4.7.- Reactor UASB

Adición de reactivos

Los requisitos de alcalinidad y nutrientes necesarios para el proceso de digestión anaerobia en el reactor UASB se calculan en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia* y serán: $\text{NaOH}=0,06\text{m}^3/\text{h}$, $\text{NH}_4\text{Cl}=0,08\text{m}^3/\text{h}$, $\text{NaH}_2\text{PO}_4=0,004\text{m}^3/\text{h}$.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.26** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado del reactor UASB.

Tabla 7.26. Parámetros de diseño. Reactor UASB.

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Parámetro		Rango típico	Valor
$CV, \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$	Carga orgánica volumétrica	5-30	24
$u, \text{ m/h}$	Velocidad ascensional	0,6-1,5	0,7
$Q_d, \text{ m}^3/\text{h}$	Caudal	-	54,2
$S_0, \text{ mg/L}$	Concentración de DQO entrada	-	8495
$E, \%$	Rendimiento de eliminación	80-95	88
$X, \text{ mg SSV/L}$	Conc. SSV en el manto de lodos	5-40	24000
$H_G, \text{ m}$	Altura separador GSL	2,5-3	2,5
$e, \%$	Coefficiente de espacio efectivo	-	0,85

En la **Tabla 7.27** se recogen los resultados del dimensionado del reactor UASB así como las expresiones utilizadas en cada caso.



Tabla 7.27. Dimensionado básico. Reactor UASB.

REACTOR UASB			
Parámetro		Ecuación	Valor
S , kg/h	Concentración de DQO en la salida	$S = S_0 \cdot (1 - \frac{E}{100})$	1032
V_n , m ³	Volumen efectivo del reactor	$\frac{Q_d \cdot S_0}{CV} \cdot \frac{24}{1000}$	460,3
V_L , m ³	Volumen del reactor	$\frac{V_n}{0,85}$	541,6
TRH , h	Tiempo de retención hidráulico	$\frac{V_L}{Q_d}$ Rango entre 0,2-2 d	√ 10
P_x , kg/d	Producción de microorganismos	$Y \cdot Q_d (S_0 - S) \frac{24}{1000}$	388,9
Q_w , m ³ /h	Caudal de purga	$\frac{P_x \cdot 1000}{X \cdot 24}$	0,68
TRC , d	Tiempo de retención celular	$\frac{V_n \cdot X}{P_x} \cdot \frac{1}{1000}$	28,4
F/M , kgDQO/(kg SSVLM.d)	Relación Alimento/microorganismos	$\frac{Q_d \cdot S_0}{V_n \cdot X} \cdot 24$ Rango entre 1-3	√ 1,00
A , m ²	Área transversal del reactor	$\frac{Q_d}{u}$	77,4
D , m	Diámetro	$D = \sqrt{4A/\pi}$	9,9
H , m	Altura	$H = \frac{V_L}{A}$	7
H_T , m	Altura total	$H_T = H + H_G$	9,5

7.4.8.- Reactor Lodos activos

En el proceso de lodos activos se dimensionarán el reactor de aireación y el decantador secundario.

Adición de reactivos

Los requisitos de nutrientes necesarios para el proceso de digestión aerobia en el reactor de lodos activos se calculan en el apartado 7.4.2.- *Balances de materia* y serán: $\text{NH}_4\text{Cl} = 10,6 \text{ kg/h}$, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 = 2,2 \text{ kg/h}$.

Dimensionado básico

En la **Tabla 7.28** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado del reactor de lodos activos.

Tabla 7.28. Parámetros de diseño. Reactor de lodos activos.

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Parámetros		Rango típico	Valor
$\text{CM}, \frac{\text{kg DQO}}{\text{kg SSLM d}}$	Carga másica	0,2 - 0,6	0,6
DO, mg/L	Oxígeno disuelto	>1mg/L	2
Q, m ³ /h	Caudal de afluente	-	53,5
S ₀ , mg DQO/L	Concentración de DQO en afluente	-	1032
E, %	Porcentaje de eliminación	85-95	90
X, mg SSVLM/L	Concentración de SSVLM en reactor	2500-4000	3200
X _w , mgSSVLM/L	Concentración de SSVLM en purga	-	10000
X _E , mgSSVLM/L	Concentración de SSVLM en efluente clarificado	-	15
ρ , kg/m ³	Densidad de lodos	-	1005
$Y, \frac{\text{kg SSVLM}}{\text{kg DQO eliminada}}$	Rendimiento o síntesis celular	-	0,4
H, m	Altura del reactor	-	4,5
e, %	Eficiencia difusores de aire	20-35	30
$\rho_{\text{aire}}(1 \text{ atm}, 20 \text{ }^\circ\text{C}), \text{ kg/m}^3$	Densidad del aire	-	1,2

En la **Tabla 7.29.** se recogen los resultados del dimensionado del reactor de lodos activos así como las expresiones utilizadas en cada caso.



Tabla 7.29. Dimensionado básico. Reactor de lodos activos.

DIMENSIONADO BÁSICO			
V, m^3	Volumen del reactor	$\frac{Q \cdot S_0}{X \cdot CM} * 24$	690
THR, h	Tiempo hidraulico de residencia	$\frac{V}{Q}$	12,9
W, m	Anchura	Se considera: $L=2W$, entonces: $\sqrt{\frac{V}{2H}}$	9
L, m	Largura	$2W$	18
$CV, kg \text{ DQO}/m^3d$	Carga volumétrica	$\frac{Q \cdot S_0}{V} * \frac{24}{1000}$ Rango entre: 0,8-1,92	√ 1,92
$S, mg \text{ DQO}/L$	Concentración de DQO en afluente	$S_0 \left(1 - \frac{E}{100}\right)$ Valor <125	√ 107,1
$P_x, kg/d$	Produccion de microorganismos	$Y \cdot Q \cdot (S_0 - S) * \frac{24}{1000}$	477,3
$R_0, kg \text{ O}_2/d$	Necesidad de oxigeno	$Q \cdot (S_0 - S) * \frac{24}{1000} - 1.42 \cdot P_x$	515,4



DIMENSIONADO BÁSICO			
$R_{aire}, m^3 \text{ aire/d}$	Necesidad de aire	$R_0 \cdot \left(\frac{100}{23,3}\right) \left(\frac{1}{\rho_{aire}}\right) \left(\frac{1}{e}\right)$	6145
$Q_E, m^3/h$	Vertido a cauce	$\frac{QX_w - P_x}{X_w - X_E}$	51,6
$Q_w, m^3/h$	Caudal purga	$Q - Q_E$	1,9
$Q_R, m^3/h$	Caudal recirculación	$\frac{QX - Q_E X_E - Q_w X_w}{X_w - X}$	22,3
Relación de recirculación, %	-	$\frac{Q_R}{Q} * 100$	41,7
TRC, d	Tiempo de retención celular	$\frac{VX}{P_x} * \frac{1}{1000}$	4,6

En la **Tabla 7.30** se muestran los parámetros de diseño fijados para el dimensionado del decantador secundario.

Tabla 7.30. Parámetros de diseño. Decantador secundario.

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Parámetros		Rango típico	Valor
Q , m ³ /h	Caudal de afluente	-	53,5
Q_R , m ³ /h	Caudal de recirculación	-	22,3
X , mg SSVLM/L	Concentración de SSV en la entrada	-	3200
h	Altura del decantador	3-6,5	3,6
u , m ³ /m ² d	Velocidad ascensional	16-28	19

En la **Tabla 7.31.** se recogen los resultados del dimensionado del decantador secundario así como las expresiones utilizadas en cada caso.



Tabla 7.31. Dimensionado básico. Decantador secundario.

DIMENSIONADO BÁSICO			
A, m^2	Área transversal	$\frac{Q}{u} * 24$	67,6
D, m	Diámetro	$D = \sqrt{4A/\pi}$	9,3
V, m^3	Volumen del decantador	$V = \frac{\pi D^2}{4} h$	243,3
<i>Carga de sólidos, kg/m²h</i>	-	$\frac{(Q + Q_R)X}{A} * \frac{1}{1000}$ Rango entre: 4 - 6	√ 3,6
<i>Carga sobre vertedero, m³/m²h</i>	--	$\frac{Q_E}{\pi D}$	2,32



8. SEGURIDAD



8.1.- RIESGOS GENERALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS

El presente Estudio de Seguridad establece las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales. Se describirán los distintos riesgos generales y las principales medidas preventivas a tener en cuenta para evitarlos.

8.1.1.- Riesgos generales y medidas preventivas identificados por proceso

Se recogen en la **Tabla 8.1** los riesgos generales que podrán aparecer en la línea de tratamiento de aguas, identificando únicamente los que se presentarán con mayor frecuencia en cada etapa del proceso.



Tabla 8.1. Principales riesgos generales identificados por proceso.

RIESGO	PROCESO							
	PRETRATAMIENTO		TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO BIOLÓGICO		
	REJA	TAMIZ	HOMOGENEIZACIÓN	COAG. - FLOC.	DAF	UASB	LODOSACTIVOS	DEC. 2°
Golpes producidos por una caída a distinta altura	X		X		X	X	X	X
Golpes producidos por una caída al mismo nivel	X				X	X	X	X
Golpes por objetos proyectados								
Golpes por objetos que caen			X		X			
Golpes o atropellos causados por vehículos								
Choques entre personas y objetos, ambos en movimiento	X				X			X
Contacto con objeto cortante	X	X						
Quedar atrapados en las partes en movimiento de un equipo u objeto	X	X			X			X



Tabla 8.1. Principales riesgos generales identificados por proceso. Continuación.

RIESGO	PROCESO							
	PRETRATAMIENTO		TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO BIOLÓGICO		
	REJA	TAMIZ	HOMOGENEIZACIÓN	COAG-FLOC	DAF	UASB	LODOS ACTIVOS	DEC 2°
Quedar aplastado o ser aplastado bajo un objeto								
Sobresfuerzo físico por manipulación manual de cargas								
Accidentes con agentes químicos nocivos			X	X	X	X	X	
Exposición a agentes químicos corrosivos			X	X	X	X	X	
Incendio						X	X	
Explosión						X		
Contactos con entornos a alta temperatura								
Ahogamiento en un líquido			X		X		X	X
Ahogamiento por quedar envuelto en gases o vapores					X	X	X	

8.1.2.- Descripción de riesgos generales y medidas preventivas

Los riesgos generales presentados en la **Tabla 8.1.** así como las medidas preventivas ^{[75][76]} a tener en cuenta para evitarlos se describirán en el Apartado 14. Anexos en el Anexo II. Seguridad: Descripción de riesgos generales.

8.1.3.- Riesgos generales de especial atención y medidas preventivas

En la línea de tratamiento de aguas, se utilizan sustancias y preparados químicos peligrosos. Además, en algunos procesos pueden generarse gases que de no ser controlados y manipulados de forma apropiada pueden causar efectos adversos para la salud de los trabajadores, o ser causa de incendio o de explosión. Por la importancia de los daños que comporta este tipo de riesgos, se considerarán en detalle a continuación.

8.1.3.1.- Riesgos relacionados con agentes químicos

La utilización de productos químicos en distintos puntos del proceso de tratamiento de aguas puede entrañar riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores si no se toman las medidas preventivas adecuadas.

Se identifican en la **Tabla 8.2** los agentes químicos presentes durante el tratamiento del agua residual, ya sean utilizados como reactivos en los procesos o generados durante los mismos.

Así mismo se identifican el proceso en que se utilizan cada sustancia, su función, los riesgos a que están expuestos los trabajadores mediante las frases R y los efectos más importantes sobre su la salud.

Las frases R completas pueden consultarse en el Anexo II. Seguridad: Frases R y las fichas de seguridad de los productos químicos utilizados en las instalaciones de la línea de aguas en el Anexo II. Seguridad: Fichas técnicas y de seguridad.

Después en la **Tabla 8.3.** se describen los principales riesgos y factores de riesgo relacionados con la presencia de los agentes químicos identificados.



Tabla 8.2. Agentes químicos presentes en la instalación de la línea de aguas.

<i>Sustancia</i>	<i>Proceso</i>	<i>Función</i>	<i>Frases R</i>	<i>Observación</i>
Ácido sulfúrico	Homogeneización	Ajuste de pH	R35	Corrosivo
Hidróxido sódico	Homogeneización	Ajuste de pH	R35 si conc > 5%	Corrosivo
Cloruro férrico	Coagulación	Coagulante	R22,R36/38	Nocivo, irritante
Poliectrolito	Floculación	Floculante	-	-
Sulfuro de hidrógeno	Digestores	Generado en procesos	R12,R26,R50	Muy tóxico, inflamable
Amoniaco	Digestores	Generado en procesos	R10, R23	Tóxico
Metano	Digestores	Generado en procesos	R12	Inflamable
Monóxido y Dióxido de carbono	Digestores	Generado en procesos	R61,R12,R23, R48/23	Tóxico e inflamable
Cloruro de amonio	Digestión anaerobia y aerobia	Adición de nutrientes	R22, R36	Irritante, no inflamable, no explosivo
Dihidrogenofosfato de sodio	Digestión anaerobia y aerobia	Adición de nutrientes	-	No clasificado como peligroso



Tabla 8.3. Riesgos y factores de riesgo relacionados con la presencia de agentes químicos.

<i>Riesgo</i>	<i>Factores de riesgo</i>
Riesgos de incendio y/o explosión	<ul style="list-style-type: none">- Inflamabilidad del producto (temperatura de inflamación y de autoignición)- Concentración en el ambiente superior a los límites de inflamabilidad o a los límites inferiores de explosividad.- Inexistencia o insuficiencia de sistemas de ventilación general o localizada.- No aislamiento de fuentes de generación de gases, vapores, polvos.- Existencia de focos de ignición (fumar, operaciones con llama, cortocircuitos, herramientas etc).- Procedimientos de trabajo inseguros en áreas de riesgo.
Riesgos por inhalación del agente	<ul style="list-style-type: none">- Concentración ambiental elevada- Tiempo diario de exposición inadecuado- Número y situación de los focos de emisión- Separación del trabajador de los focos de emisión inadecuada- Tasa de generación de gases, vapores o aerosoles elevada- Aislamiento del agente inadecuado- Sistemas de ventilación general y local insuficientes- Inexistencia de sensores para monitorizar gases- Procedimiento de trabajo inadecuado



Tabla 8.3. Riesgos y factores de riesgo relacionados con la presencia de agentes químicos. Continuación.

Riesgos por absorción a través de la piel	<ul style="list-style-type: none">- Localización y extensión del contacto- Duración y frecuencia del contacto- Cantidad o concentración del agente elevada- Temperatura y humedad ambiente- Gestión incorrecta de EPI- Procedimiento de trabajo inadecuado
Riesgos por ingestión	<ul style="list-style-type: none">- Hábitos higiénicos personales inadecuados- Posibilidad de comer, beber o fumar en los puestos de trabajo- Procedimiento de trabajo inadecuado
Riesgos por contacto de piel u ojos con el agente químico	<ul style="list-style-type: none">- Gestión incorrecta de EPI's- Procedimiento de trabajo inadecuado- Inexistencia de medios de control de fugas y derrames- Envases inadecuados- Sistemas de trasvase incorrecto



Tabla 8.3. Riesgos y factores de riesgo relacionados con la presencia de agentes químicos. Continuación.

<i>Riesgo</i>	<i>Factores de riesgo</i>
Riesgos químicos derivados de las instalaciones	<ul style="list-style-type: none">- Corrosión interna de materiales e instalaciones- Corrosión externa (humedad, ambiente salino)- Inexistencia de medios de control de fugas y derrames (cubetos de retención, protección frente a impactos mecánicos)- Inexistencia de mantenimiento preventivo- Instrumentación de regulación y control poco fiable- Inexistencia de dispositivos de seguridad (sobrepresiones, alarmas)- Puestas en marcha y paradas no procedimentadas- Inexistencia de medios de confinamiento y sectorización



Medidas preventivas:

Las medidas preventivas a seguir para evitar materializar los riesgos anteriormente mencionados se enumeran a continuación:

- Antes de la utilización de cualquier producto químico, se debe leer atentamente su etiqueta e indicaciones de peligro, así como la ficha de datos de seguridad que debe ser facilitada por el suministrador.
- Se guardarán siempre los productos en sus envases originales. Cuando esto no sea posible los nuevos envases se etiquetarán convenientemente en cumplimiento del RD 363/1995 y 255/2003.
- No se utilizarán los envases una vez vacíos para otros propósitos. Los recipientes siempre serán adecuados al tipo de producto y se almacenarán de forma ordenada en lugar especialmente diseñado para tal fin, teniendo en cuenta las incompatibilidades entre productos. Se dispondrá de un inventario de los mismos y de los medios de separación, aislamiento o confinamiento adecuados.
- Se instalarán duchas y lavajos en las inmediaciones de los lugares de trabajo, especialmente en carga y descarga, llenado de recipientes, bombas y puntos de toma de muestras. Las duchas y lavajos no distarán más de 10 m de los puestos de trabajo indicados y estarán libres de obstáculos y debidamente señalizados.
- Los almacenes e instalaciones de carga y descarga o trasvase dispondrán necesariamente de ventilación, natural o forzada, para evitar que se superen las concentraciones máximas admisibles de cada agente químico en las condiciones normales de trabajo. Cuando se encuentren situados en el interior de edificios, la ventilación se canalizará a un lugar seguro del exterior mediante conductos exclusivos para tal fin, teniéndose en cuenta los niveles de emisión a las atmósfera admisibles. Cuando se emplee ventilación forzada, esta dispondrá de un sistema de alarma en caso de avería.
- Se dispondrá de detectores portátiles para gases, con el fin de acceder de forma segura a las zonas de trabajo, tomando las medidas preventivas necesarias (mascarillas, equipos de respiración) en función de los niveles de contaminante medidos.
- Se señalarán debidamente en todas las zonas de trabajo cada riesgo de exposición, explosión etc. así como las medidas preventivas (equipos de protección individual, permisos de trabajo, presencia de recursos preventivos) para evadir tales riesgos.
- Existirá un plan de revisiones para comprobar la disponibilidad y buen estado de los elementos e instalaciones de seguridad y equipos de protección personal.

8.1.3.2.- Riesgos relacionados con espacios confinados

Un espacio confinado es cualquier espacio, no concebido para una ocupación continuada por parte del trabajador, con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos (como sulfuro de hidrógeno o monóxido de carbono), explosivos (como metano), se puede encontrar una atmósfera deficiente en oxígeno (inferior al 21%), o puede producirse una inundación.

Una atmósfera se considera peligrosa para las personas cuando debido a su composición, existe riesgo de muerte, incapacitación, lesión o enfermedad grave o dificultad para abandonar el recinto por sus propios medios. Se clasificará como peligrosa si se dan una o varias de las siguientes condiciones:

1. Riesgo de asfixia por insuficiencia de oxígeno: cuando la concentración de oxígeno es inferior al 19,5% en volumen o bien atmósferas sobreoxigenadas con concentraciones de oxígeno superiores al 23,5% en volumen, se consideran peligrosas por aumentar el riesgo de incendio y explosión.
2. Riesgo de explosión o incendio: Cuando la concentración de gases o vapores inflamables supera el 10% de su límite inferior de explosividad (LIE).
3. Riesgo de intoxicación por inhalación de contaminantes: Cuando la concentración ambiental de cualquier sustancia, o del conjunto de varias, supera sus correspondientes límites de exposición laboral (VLA).

Riesgos comunes que conlleva la realización de tareas en los recintos confinados existentes son:

- Intoxicación por inhalación de elementos tóxicos y/o contaminantes.
- Alergias por contacto con elementos tóxicos y/o contaminantes.
- Mareos y náuseas.
- Desfallecimientos y/o pérdidas de conocimiento.
- Caídas al mismo o distinto nivel.
- Golpes con elementos móviles o fijos.

Medidas Preventivas

- Verificar utilizando un medidor de gases que no existe peligro para personas, antes de acceder a la zona de trabajo y durante los trabajos y ventilar el espacio hasta que disminuya la concentración.
- La primera vez que se acceda al recinto el técnico con el equipo de medición, tienen que disponer de un equipo de respiración autónoma.

- Asegurar la presencia de un segundo operario situado fuera del recinto para vigilar al operario que se encuentra en el interior. No realizar accesos a espacios confinados en solitario.
- El operario que acceda al recinto ha de estar atado a una cuerda lo suficientemente larga para permitir libertad de movimientos, esta cuerda estará unida a un sistema de poleas situado en la superficie, o bien al segundo operario.
- Hay que disponer de un sistema de comunicación eficaz entre el operario que está en el interior y el del exterior del recinto.
- Se ha de estar atento a cualquier señal de alerta para poder abandonar inmediatamente el área y pedir ayuda.
- Durante los trabajos se tienen que realizar mediciones periódicas de gases y vapores.
- Se tiene que redactar procedimientos de trabajo que permitan la definición de un protocolo de seguridad en este tipo de actividades, adaptado a cada caso.
- Para acceder a estos espacios han de utilizarse escaleras fijas o bien portátiles cuando sean seguras y estables. Bajo ningún concepto se podrá utilizar escaleras colgadas.
- Se tiene que limitar la entrada a las personas imprescindibles y autorizadas.
- Siempre que sea posible, se debe ventilar el recinto.
- Los trabajadores que realicen estos trabajos deben disponer de la cualificación, formación e información suficiente sobre los riesgos de trabajar en estas condiciones.
- Debe establecerse un procedimiento de trabajo donde se contemple: medios de acceso al recinto, medidas preventivas que deben adoptarse (ventilación, mediciones de gases, control continuado de la atmósfera de trabajo, etc), equipos de protección personal que deben utilizarse (protección respiratoria, arnés de seguridad, etc), equipos de trabajo que deben utilizarse y control de la operación desde el exterior.
- Precauciones universales:
 - o Vacunación.
 - o Disponer de servicios de limpieza personal y bienestar.
 - o Disponer de soluciones antisépticas para la limpieza de las manos.
 - o No comer, beber o fumar en el área de trabajo.
- Utilizar protecciones respiratorias en la manipulación lodos o de materiales que puedan contener hongos causante de alergias y enfermedades pulmonares, trabajos de reparación de elementos en contacto directo con aguas residuales potencialmente contaminantes y movimiento de tierras y escombros donde se genere polvo potencialmente

contaminados.

- Si se tiene que recoger material contaminado hay que hacerlo mediante aspirador provisto de filtro adecuado o por vía húmeda.

8.1.3.3.- Control de atmósferas explosivas (ATEX) y Prevención de incendios

Los riesgos de explosión e incendio, son los más importantes bajo el punto de vista de las consecuencias de su materialización.

8.1.3.3.1.- Control de atmósferas explosivas (ATEX)

La generación de gases combustibles en algunos procesos de la línea de tratamiento de aguas hace imprescindible evaluar y controlar el riesgo de incendio y explosión.

En cuanto al control de atmósferas explosivas (ATEX), en el RD 681/2003 de 12 de Junio sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos al riesgo derivado de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, se establecen las obligaciones para identificar, evaluar y controlar dichas atmósferas explosivas, basándose en un documento denominado de protección contra explosiones.

En la línea de tratamiento de aguas dimensionada la generación de biogás por digestión anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el principal foco de generación de atmósferas explosivas.

El metano (CH₄) es el componente mayoritario (65-70%) del biogás. Se considera extremadamente inflamable y en condiciones normales su rango de inflamabilidad está comprendido entre el 5% (LIE - Límite inferior de explosividad) y el 15% (LSE- Límite superior de explosividad) de volumen de aire.

Por lo tanto, en presencia de metano se debe evitar la presencia de cualquier foco de ignición, especialmente en las zonas clasificadas como potencialmente explosivas en aplicación del RD 681/2003. En estas áreas clasificadas, la instalación eléctrica y los equipos, incluso los accionados mecánicamente, deberán cumplir la normativa ATEX.

El riesgo de que se formen atmósferas explosivas en las plantas de tratamiento de aguas residuales debido al metano se suele producir en uniones de tuberías (bridas), válvulas de seguridad, puntos de toma de muestras y purgado de condensados, conexiones de aparatos de medida, arquetas, sala de compresores, sala de calderas y de cogeneración, siendo las zonas de mayor riesgo las de los digestores y gasómetros.

Las principales medidas preventivas y de protección contra explosiones se pueden clasificar según:

- *Medidas de gestión del riesgo: Actuación sobre mezclas inflamables y procesos*
 - o Captación de vapores y polvos
 - o Ventilación general por dilución, evitando que la concentración de los gases inflamables alcance el LIE.
 - o Segregación de los procesos tipo ATEX
 - o Detección de gases en las zonas en que se puedan generar. Esta medida debe ir acompañada de otras medidas preventivas (ventilación) y planes de actuación que se activen cuando se detecte la situación peligrosa.
- *Medidas para evitar fuentes de ignición*
 - o Se implantará un control exhaustivo de los focos de ignición térmicos, mecánicos y químicos.
 - o Los equipos serán adecuados a la clasificación de la zona con el fin de evitar fuentes de ignición. Deberán cumplir con el RD 400/1996 sobre aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- *Medidas para atenuar los efectos de la explosión*
 - o Instalación de dispositivos de descarga de la presión de explosión: dispositivos de alivio de presión fiables que protejan al sistema contra cualquier sobrepresión, como paneles de venteo, chimeneas de descarga o discos de ruptura, que permitan mediante su rotura o abertura la evacuación de gases de explosión impidiendo que el resto del equipo se vea sometido a elevadas presiones.
 - o Uso de apagallamas, supresores de explosión
 - o Alejamiento y separación de instalaciones e interposición de obstáculos
 - o Se diseñarán y construirán los locales en zonas de riesgo con materiales resistentes al fuego y a la onda de presión.

8.1.3.3.2.- Prevención y extinción de incendios

Se deberá prever en la instalación un número suficiente de dispositivos apropiados de lucha contra incendios en función de las características de la instalación (dimensiones y usos de los locales y equipos que contenga, características físicas y químicas de las sustancias materiales que se hallen presentes y número máximo de personal que pueda hallarse en los lugares de trabajo).

- Uso del agua

En incendios que afecten a instalaciones eléctricas con tensión, se prohibirá el empleo de extintores con espuma química, soda ácida o agua.

- Extintores portátiles

En la proximidad de los puestos de trabajo con mayor riesgo de incendio y colocados en sitio visible y de fácil acceso, se dispondrán extintores portátiles o móviles, de espuma física o química, mezcla de ambas o polvos secos, anhídrido carbónico o agua, según convenga a la posible causa determinante del fuego a extinguir.

Cuando se empleen distintos tipos de extintores serán rotulados con carteles indicadores del lugar y clase de incendio en que deben emplearse.

Los extintores serán revisados periódicamente y cargados, según los fabricantes, inmediatamente después de usarlos. Esta tarea será realizada por empresas autorizadas.

- Prohibiciones

En las dependencias y lugares de trabajo con alto riesgo de incendio se prohibirá terminantemente fumar o introducir cerillas, mecheros o útiles de ignición. Esta prohibición se indicará con carteles visibles a la entrada y en los espacios libres de tales lugares.

Se prohibirá igualmente introducir o emplear útiles de trabajo no autorizados por la empresa y que puedan ocasionar chispas por contacto o proximidad a sustancias inflamables.

8.1.4.- Evaluación de riesgos y medidas preventivas para el puesto “operario de mantenimiento y control”

Cada empresa que explote una planta de tratamiento de aguas residuales deberá realizar la Evaluación de Riesgos de cada uno de los puestos de trabajo, y entregar a sus trabajadores (en cumplimiento de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y del Reglamento de los Servicios de Prevención) la información sobre los riesgos y medidas preventivas de su puesto de trabajo.

En la **Tabla 8.4** se muestra la evaluación de riesgos para el puesto ‘Operario de mantenimiento y control’. Se recopilan los principales factores de riesgo, riesgos que desencadenan y posibles medidas preventivas para evitarlos. En la **Tabla 8.5** se enumeran los principales EPI’s (Equipos de protección individual) que los trabajadores en este puesto deben utilizar en función de los principales factores de riesgo.



PUESTO: OPERARIO DE MANTENIMIENTO Y CONTROL

Tabla 8.4. Principales factores de riesgo, riesgos y medidas de seguridad consideradas para su prevención.

FACTOR	RIESGO	MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVENTIVAS
Equipos de trabajo empleados durante la explotación. Operaciones de mantenimiento y reparación de averías.	Golpes y atrapamientos, contactos eléctricos	<ul style="list-style-type: none">- Identificar los riesgos que puedan derivarse de las operaciones de reparación de averías, limpieza y mantenimiento de equipos de trabajo, para establecer las medidas preventivas según se indique en el manual correspondiente.- Disponer y utilizar los manuales de los equipos de trabajo, donde se indica las instrucciones de funcionamiento, limpieza y mantenimiento, advertencias o peligros y medidas preventivas correspondientes.- Todo equipo de trabajo que vaya a ser manipulado deberá previamente desconectarse de la corriente.- Utilizar las paradas de emergencia ante cualquier situación de peligro.
Desgaste de equipos de protección personal (pérdida de eficacia protectora)	Exposición a agentes químicos y biológicos	<ul style="list-style-type: none">- Los equipos de protección personal se guardarán en armarios ubicados en las proximidades del puesto en que sea obligatorio su uso.- Los equipos de protección personal cuando pierdan su eficacia protectora se sustituirán por otros nuevos.- El uso correcto de guantes es indispensable, asegurando su impermeabilidad y evitando que se manchen por dentro. Es necesario usar botas impermeables y adecuadas. La limpieza y desinfección de botas guantes y ropa debe ser meticulosa.
Manejo de productos químicos	Exposición a agentes químicos nocivos, corrosivos, sensibilizantes, etc.	<ul style="list-style-type: none">- Leer detenidamente el etiquetado del producto fases R (riesgos del producto) y fases S (medidas de seguridad).- Disponer de la ficha de seguridad del producto para conocer detalladamente las indicaciones del fabricante incluyendo las medidas de emergencia en caso de accidente (formación e información).



Tabla 8.4. Principales factores de riesgo, riesgos y medidas de seguridad consideradas para su prevención (Continuación).

FACTOR	RIESGO	MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVENTIVAS
Manejo de productos químicos	Exposición a agentes químicos nocivos, corrosivos, sensibilizantes, etc.	<ul style="list-style-type: none">- Utilizar los medios de protección personal necesarios. Deberá estar señalizado el uso obligatorio de los mismos en el puesto de trabajo.- En caso de accidente, utilizar el lavavojos cuando el producto químico caiga en los ojos y la ducha de emergencia cuando caiga por el cuerpo en general. Disponer de botiquín con los productos adecuados para primeras curas. Acudir a un médico.- Se deberá llevar a cabo la vigilancia de la salud de los trabajadores en función de los productos químicos utilizados. Consultar las fichas de seguridad de los productos utilizados.
Trabajo con sustancias inflamables o explosivas (metano generado por la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales, propano almacenado en depósito, etc.)	Incendio y explosión	<ul style="list-style-type: none">- Como norma general está prohibido fumar en toda la planta de proceso. Así mismo estará prohibido encender fuego y originar chispas con equipos de trabajo en áreas donde el proceso emplee sustancias explosivas o inflamables (información).- Deberá estar señalizada la prohibición de fumar y encender fuego en todas las áreas donde el proceso utilice sustancias explosivas o inflamables (sala de calderas, depósito de gas, nave de pretratamiento etc.)
Trabajos en espacios confinados (Tanques de depósitos, calderas, alcantarillas, cisternas, zanjas, etc.)	Exposición a agentes químicos nocivos, tóxicos, asfixia (deficiencia de oxígeno), incendio y explosión.	<ul style="list-style-type: none">- Está prohibido entrar en un espacio confinado sin haber comprobado previamente la concentración de las sustancias presentes en el ambiente mediante un aparato de medida debidamente calibrado de lectura directa.- Evaluar los riesgos en función de las sustancias existentes en los espacios confinados y establecer las medidas preventivas necesarias.- Estar formado en la prevención de riesgos en espacios confinados.
Nave de pretratamiento y bombeo: Olor de las aguas residuales	Exposición a agentes químicos nocivos	<ul style="list-style-type: none">- Deberá estar señalizado el uso obligatorio de protección de las vías respiratorias.



Tabla 8.4. Principales factores de riesgo, riesgos y medidas de seguridad consideradas para su prevención (Continuación).

FACTOR	RIESGO	MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVENTIVAS
Nave de pretratamiento y bombeo: Olor de las aguas residuales	Exposición a agentes químicos nocivos	<ul style="list-style-type: none">- Utilizar, preferentemente, máscara con filtro certificado con marcado CE, que evite el mal olor.- El sistema de extracción forzada debe estar funcionando con las puertas de la nave abiertas.
Contacto de la materia residual con las manos	Exposición a agentes biológicos	<ul style="list-style-type: none">- Deberá estar señalado el riesgo biológico- Deberá estar señalizado el uso obligatorio de protección de las manos.- Utilizar preferentemente guantes de goma certificados con marcado CE.
Tanques (homogeneización, flotación)	Exposición a agentes químicos nocivos Caída de personas a distinta altura	<ul style="list-style-type: none">- Cerrar la zona de acceso- Pasillos protegidos
Reactores biológicos y decantación secundaria: operaciones de mantenimiento, reparación de averías en la zona de las balsas.	Ahogamiento Caída de personas a distinta altura	<ul style="list-style-type: none">- Deberá estar colocado al menos un flotador salvavidas en cada balsa. Se deberá utilizar la ducha y lavajos de emergencia en caso de que el trabajador rescatado hubiera caído en ella.- Usar arnés anticaídas o cinturón de seguridad cuando sea necesario (al trabajar sin barandillas o sistema de protección colectivo equivalente).
Trabajos de mantenimiento en los decantadores	Caída de personas a distinta altura	<ul style="list-style-type: none">- Deberán estar señalizadas (frangas alternas amarillas y negras oblicuas 45°) las placas quitaobstáculos del camino de rodadura de los decantadores, para advertir del riesgo de atrapamiento.- Utilizar el pulsador de emergencia cuando resulte necesario evitar un atrapamiento.
Sala de soplantes de aireación	Exposición al ruido	<ul style="list-style-type: none">- El uso de protección auditiva será obligatorio. En la sala se colocarán cascos de protección para los oídos.
Depósitos: Escalera fija de acceso	Caída de personas a distinta altura	<ul style="list-style-type: none">- Deberán instalarse barandillas en la escalera y plataforma (altura mínima 90 cm y listón intermedio. Al subir o bajar usar como agarre.

Tabla 8.5. EPI's y medidas preventivas en función del riesgo detectado.

<i>Riesgo</i>	<i>Medidas preventivas y EPI'S</i>
Temperaturas extremas	Uso de EPI's adecuados para frío y lluvia en el exterior.
Atropellos o golpes con vehículos	Recordar a los trabajadores: <ul style="list-style-type: none"> - Buen mantenimiento de los vehículos. - Cumplimiento de las normas de circulación. - Conducción en interiores a $v < 15-30$ km/h
Riesgo biológico	Recordar a los trabajadores que pueden estar expuestos al contacto con agentes biológicos por las características de la instalación, y recordar: <ul style="list-style-type: none"> - Prohibido fumar, comer o beber fuera de las zonas reservadas. - Higiene personal después del trabajo con riesgo de exposición. - Uso de taquillas diferenciadas para ropa de calle y trabajo.
Caídas de personas al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener colocadas las rejillas de protección de registros y arquetas en las plataformas metálicas. - Utilizar calzado de protección UNE EN347 con clasificación II y tipo D (calzado vulcanizado de caña larga) y requisito adicional de suela antideslizante.
Caída de objetos en manipulación	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger los niveles inferiores - Disponer de sujeción de herramientas en trabajos de altura - Uso de calzado de seguridad UNE EN345 - Uso de casco de seguridad UNE EN397
Golpes por objetos o herramientas	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de guantes de protección contra riesgos mecánicos UNE EN388.
Proyección de fragmentos o partículas	Uso de gafas panorámicas o con pantalla facial UNE EN166, con índice mínimo "F" de protección frente a proyecciones mecánicas y clase óptica "1".
Atrapamiento por y entre objetos	Realizar tareas de mantenimiento en zonas de peligro, en el interior de equipos y máquinas cuando estén paradas y desconectadas de su fuente de alimentación. Se garantizará su desconexión mediante enclavamiento o similar.

Tabla 8.5. EPI's y medidas preventivas en función del riesgo detectado.

<i>Riesgo</i>	<i>Medida preventiva y EPI'S</i>
Exposición a sustancias nocivas, productos químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de gafas panorámicas o con pantalla facial UNE EN166, con índice mínimo "f" de protección frente a proyecciones mecánicas y clase óptica "1". - Disponer de lavajos y duchas para su uso en caso de contacto accidental con la sustancia nociva. - Uso de guantes de protección contra riesgos químicos y biológicos UNE EN374.
Sobreesfuerzos, fatiga física	Informar a los operarios sobre las técnicas de manipulación de cargas para evitar dolencias dorsolumbares.
Contacto eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Las herramientas deben estar correctamente aisladas para trabajos con corriente eléctrica. Para trabajos en tensión utilizar los EPI: - Casco de seguridad UNE EN397 con protección eléctrica. - Pantalla facial frente a arco eléctrico UNE EN16 nivel de protección 8. - Guantes aislantes UNE EN60903 (clase 00, categoría R).

8.2.- ESTUDIO HAZOP – UNIDAD DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF)

A continuación se presenta el análisis HAZOP realizado para la unidad de flotación por aire disuelto.

Uno de los aspectos críticos de la línea de tratamiento de aguas de la industria de biodiesel es la eliminación de aceites y grasas presentes en concentración elevada en el agua residual. El análisis HAZOP del equipo de flotación permitirá realizar un examen detallado del proceso de eliminación de grasas/aceites que en él tiene lugar, evaluar los riesgos potenciales de la operación no previstos en el diseño, o el mal funcionamiento del equipo y la consecuencia de sus efectos en el conjunto de la instalación y el entorno.

El estudio HAZOP se articula en dos etapas: 1) Realizar el diagrama P&I del equipo/proceso objeto de estudio y 2) Identificar y evaluar los riesgos potenciales de un incorrecto funcionamiento del mismo.

El P&ID de la unidad, en el que se señalan las líneas y nodos tal y como se nombran en el estudio HAZOP puede consultarse en formato A3 en el apartado 14. Anexos en el Anexo I. Diagramas.



ESTUDIO HAZOP					Página 1 de 4	
CLIENTE:	UVA	NODO N°:		REV:	1	
PLANTA:	TRATAMIENTO AR	DIBUJO:	1	FECHA:	Abril 2015	
SISTEMA:	FLOTACIÓN	DESCRIP/ LINEA	INYECCIÓN AIRE COMPRIMIDO / L1	POR:	María Rojo	

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	ACCIONES A TOMAR
No	Flujo	Conducción obstruida Filtro obstruido Bloqueo, fallo o caída del compresor V-101	No se alimenta aire al proceso, tratamiento inefectivo, daños en los equipos siguientes por la presencia de contaminantes no eliminados (aceites, grasas)	Desde punto de vista operacional: Instalar control diferencial de presión y bypass entre entrada y salida de compresor. Mantenimiento regular en conducciones y filtro
Menos	Presión	Fallo en potencia de compresor Pérdidas en la línea	Menor cantidad de aire en el agua, menor eficacia del proceso de eliminación de grasas/aceites	Comprobar regularmente limpieza en filtro (evitar pérdidas de carga adicionales en la línea)
Más	Presión	Sobrepresión por calentamiento Compresor falla por velocidad alta	Incendio o explosión por combustión de aceites y vapores procedentes de los utilizados para la lubricación del compresor (No frecuente)	Instalación de alarma de alta temperatura Mantenimiento preventivo, limpieza
Más	Temperatura	Sobrecalentamiento por aumento excesivo de presión	Riesgo de incendio y explosión	Instalación de termostatos a la salida de compresor que detengan funcionamiento si la temperatura es extrema.



ESTUDIO HAZOP

Página 2 de 4

CLIENTE:	UVA	NODO N°:		REV:	1
PLANTA:	TRATAMIENTO AR	DIBUJO:	1	FECHA:	Abril 2015
SISTEMA:	FLOTACIÓN	DESCRIP/ LINEA	INYECCIÓN AIRE COMPRIMIDO / L2	POR:	María Rojo

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	ACCIONES A TOMAR
No	Flujo	Válvula FCV-101 falla en cerrado Obstrucción en salida de B-110	Acumulación de aire comprimido en tanque B-110, explosión.	Lazo de control de seguridad de nivel sobre tanque B-110, con switch de mínimo sobre FCV-101. Instalación de válvula de seguridad PSV-101 en tanque B-110.
Más	Flujo	Fallo en control de proporción FF-101	Relación entre aire y recirculación inadecuada, aire sin solubilizar	No requiere acciones específicas, el fallo sólo tiene consecuencias desde el punto de vista operacional
Menos	Flujo	Igual que "Más Flujo"	Relación entre aire y recirculación inadecuada, insuficiente para alcanzar la eficacia de eliminación requerida	Igual que "Más Flujo"



ESTUDIO HAZOP					Página 3 de 4	
CLIENTE:	UVa	NODO N°:		REV:	1	
PLANTA:	TRATAMIENTO AR	DIBUJO:	1	FECHA:	Abril 2015	
SISTEMA:	FLOTACIÓN	DESCRIP/ LINEA	RECIRCULACIÓN EFLUENTE / L3	POR:	María Rojo	

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	ACCIONES A TOMAR
No	Flujo	Obstrucción en bomba P-108 Válvula FCV-101 falla en cerrado Fallo en equipos anteriores	No hay recirculación de agua residual, solo aire comprimido	Alarma de bajo flujo al comienzo de L3, que active el cierre de FCV-101 hasta reparado el fallo
Menos	Flujo	Fallo en control de proporción FF-102	Recirculación de agua residual por debajo de la relación adecuada	No requiere acciones específicas, el fallo sólo tiene consecuencias desde el punto de vista operacional
Más	Presión	Fallo en compresor Fallo en FF-101, gran aumento de caudal de aire	Rotura de la línea	Instalación de disco de ruptura entre adición de aire comprimido y B-108



ESTUDIO HAZOP					Página 4 de 4	
CLIENTE:	UVA	NODO N°:		REV:	1	
PLANTA:	TRATAMIENTO AR	DIBUJO:	1	FECHA:	Abril 2015	
SISTEMA:	FLOTACIÓN	DESCRIP/LINEA	RECIRCULACIÓN DE AGUA SAT. EN AIRE / L5	POR:	María Rojo	

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	ACCIONES A TOMAR
No	Flujo	Válvula LCV-102 falla en cerrado Obstrucción en salida de B-108	Acumulación en tanque B-108, explosión.	Instalación de válvula de seguridad PSV-102 en tanque B-108, y disco de ruptura entre LCV-103 y B-108
Más	Flujo	Fallo en control de proporción FF-102	Demasiada recirculación (tiempo en B-108 inferior al tiempo de residencia), parte de aire no se solubiliza	No requiere acciones específicas, el fallo sólo tiene consecuencias desde el punto de vista operacional
Menos	Flujo	Igual que "Más Flujo"	Recirculación menor de lo esperado, parte de aire no se solubiliza	Igual que "Más Flujo"



9. EVALUACIÓN ECONÓMICA

9.1.- RESUMEN DEL ESTUDIO

En el presente estudio se incluyen los costes de explotación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales a lo largo de un año de funcionamiento, y se valorará el beneficio económico que puede tener lugar con la gestión adecuada de recursos derivados de la línea de tratamiento, como lodos, biogás o agua tratada.

➤ Datos básicos del servicio

○ **Descripción de la planta**

La instalación diseñada se refiere a la línea de aguas, que consiste en un proceso que incluye desbaste con rejillas de finos y tamizado, tanque de homogeneización con ajuste de pH, coagulación-floculación y flotación DAF. Línea de tratamiento biológico con etapa anaerobia formada por reactor UASB y etapa aerobia formada por fangos activos de mezcla completa.

○ **Datos de la instalación**

En cuanto al caudal medio de agua residual a tratar no existe variación estacional puesto que la producción de la planta de biodiesel es constante y se reparte por igual durante el año. El caudal medio de agua a tratar para una industria productora de 200.000 t/año de biodiesel se estima en:

Caudal Medio: $Q_m=50 \text{ m}^3/\text{h}$.

según lo considerado en el apartado **7.2. Caudal**, y por lo tanto estimando el caudal de diseño como $1,2 \cdot Q_m$, el caudal de diseño se estima en:

Caudal Diseño: $Q_d=60 \text{ m}^3/\text{h}$

El volumen total anual de agua residual será: 402.000 m^3 (Suponiendo 335 días/año a caudal medio).

- Se estiman el coste de Ejecución en Obra civil y el coste en Equipos electromecánicos a partir de obras similares en 1.500.000 € y 1.260.000 € respectivamente.



9.2.- VALORACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO ASOCIADO A LA LÍNEA DE TRATAMIENTO

Se describen a continuación las posibles acciones con las que se pueden lograr beneficios a partir de recursos asociados a la línea de tratamiento propuesta. Entre estas acciones destacan la gestión correcta de los lodos producidos, el posible aprovechamiento del biogás generado en la digestión anaerobia de las aguas residuales y la posible reutilización del agua tratada.

9.2.1.- Venta de lodos para su uso en agricultura

La línea de tratamiento podrá generar beneficios si se lleva a cabo una gestión adecuada de los lodos producidos. Entre las opciones consideradas para la gestión de los lodos generados en la línea de tratamiento se encuentran la aplicación directa en la agricultura, la valorización energética o su vertido en vertedero.

En principio la aplicación directa en agricultura parece una de las salidas más adecuadas para este residuo orgánico, sobre todo en un territorio como el andaluz en el que existe mucho suelo agrícola disponible y con un acentuado déficit de materia orgánica.

Si el contenido en metales pesados en los lodos producidos es inferior a los límites establecidos en el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, los lodos pueden destinarse a uso agrícola.

Considerando este requisito fácilmente alcanzable ya que se tratan aguas residuales sin contenido en metales pesados, y a partir de un precio de lodo seco de depuradora de 0,035 €/kg ^[77] para agricultura, con una producción anual de lodos de 67.865,8 t/año, se obtendría un beneficio de 2.375.303,6 €/año.

Otras opciones a considerar respecto a la gestión de los lodos podrían ser, en el caso en que los fangos no cumplieren las prescripciones establecidas por la normativa relativa a la aplicación de lodos al suelo, o se sobrepasase la necesidad existente para uso agrario, la valorización energética del residuo; bien por incineración con recuperación energética (cogeneración), para aumentar el rendimiento energético global del proceso de depuración de aguas, o bien la gestión en cementeras, una alternativa más rentable, tanto a nivel económico como medioambiental, que la descarga en vertedero, obteniéndose con esta materia prima resultados óptimos sin perjudicar las



calidades del cemento. Sólo en último término, si el fango tampoco pudiera ser valorizado energéticamente, se destinaría a vertedero.

En el caso de la incineración de lodos, los costes de la propia incineración se cubren con la energía que se recupera por cogeneración, de modo que no existen ingresos por la venta de lodos pero tampoco suponen un coste.

En el caso de gestión de estos lodos a cementeras (o de destinar su uso en agricultura), aún en el caso de no obtener beneficios cuantificables por su venta, se ahorraría la partida de costes referente a su tratamiento, incurriendo sólo en el coste correspondiente a su traslado a la gestión de residuos.

En cualquier caso el coste de la línea de tratamiento de aguas se justifica como necesario, tanto desde el punto de vista ambiental como económico, puesto que el vertido de aguas con carga contaminante superior a los límites establecidos por la normativa aplicable, supone sanciones económicas que pueden llegar hasta la resolución del contrato y cancelación del suministro y vertido de forma inmediata en el casos de reincidencia, lo que podría provocar el cierre inmediato de la planta de producción de biodiesel.

Otras opciones a valorar que supondrían la disminución de los costes de explotación y mantenimiento, serían la implantación de un sistema de cogeneración que aproveche el biogás producido en el proceso de digestión anaerobia o la reutilización del agua tratada para proceso.

9.2.2.- Aprovechamiento del biogás generado en la digestión anaerobia

En cuanto al aprovechamiento del biogás producido, si se considera la implantación de un sistema de cogeneración que aproveche el poder calorífico del biogás para la generación de energía eléctrica, se deberá considerar lo establecido en el RD 413/2014 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Se realizará una estimación del beneficio por la venta de energía eléctrica a partir del precio medio aritmético del mercado diario de energía eléctrica, situado en 48,42 €/MWh ^[78].

Si se producen 211 m³/h de biogás en el proceso de digestión anaerobia de

las aguas residuales, considerando un equivalente de 2,07 kWh por cada m³ de biogás ^[75] y una eficiencia de conversión a energía eléctrica del 38%, se estarían generando 166 kWh en energía eléctrica, lo que supone si se consumen un 30% y se venden los 116,2 kWh restantes un beneficio de 45158 €/año.

Todo ello contando con que las instalaciones al amparo del RD 413/2014, que no cubran sus costes de inversión u operación con la venta de energía eléctrica, recibirán adicionalmente a la retribución por la venta de energía valorada a precios de mercado, una retribución específica compuesta por:

- Un término por unidad de potencia instalada que cubra, cuando proceda, los costes de inversión para cada instalación tipo que no puedan ser repercutidos por la venta de energía en el mercado, al que se denomina retribución a la inversión.
- Un término a la operación que cubra, en su caso, la diferencia entre los costes de explotación y los ingresos explotación de la instalación tipo que corresponda, al que se denomina retribución a la operación.

De modo que se asegura la inversión en la instalación para aprovechamiento de biogás.

Otra posibilidad, para subvencionar al menos en parte la instalación para el aprovechamiento del biogás sería mediante fondos de la Junta de Andalucía, que según la Ley 2/2007 de Fomento de las Energías Renovables indica respecto al biogás (Artículo 17.5) lo siguiente:

“Será obligatorio para los titulares de emplazamientos o instalaciones con potencial de producción de biogás su aprovechamiento de acuerdo con lo que reglamentariamente se determine. La Administración de la Junta de Andalucía y las autoridades locales promocionarán la instalación de sistemas de producción, captación y aprovechamiento de biogás, potenciando, siempre que sea viable, el tratamiento de residuos mediante métodos de digestión anaeróbica que permitan la producción conjunta de biogás y compost”

9.2.3.- Reutilización del agua tratada

La posibilidad de reutilizar el agua residual tratada requiere de cumplir con los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos establecidos en el RD 1620/2007 Anexo I.A en el que se fijan (según el Apartado 3. Usos industriales, Calidad 3.1) los requisitos para la reutilización

de aguas para proceso.

Se deberían cumplir los valores máximos admisibles para la concentración de Escherichia Coli (10000 UFC/100 mL), Sólidos en suspensión (35 mg/L) y turbidez (15 UNT).

Si realizados los análisis que fija la legislación los requisitos se cumplen, siendo los precios de abastecimiento, saneamiento y ciclo integral del agua para uso industrial en Andalucía en el año 2006 los mostrados en la **Tabla 9.2**, se podría estimar el coste anual que la reutilización del agua tratada permitiría evitar en este recurso.

Tabla 9.2. Precios de abastecimiento, saneamiento y ciclo integral del agua para uso industrial en Andalucía, 2006.

Precio de abastecimiento, €/m ³
0,56
Precio de saneamiento, €/m ³
0,97
Precio agua reutilizada, €/m ³
1,53

Este coste anual se estimará como la suma del coste en abastecimiento (225.120 €/año) y del coste de saneamiento (389.940 €/año), en el que no se incurrirá por utilizar la propia línea de aguas dimensionada, lo que supondría un total de 615.060 €/año.

9.3.- GASTOS DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

A continuación se detallan los costes anuales en explotación y mantenimiento de la instalación para tratamiento de aguas residuales.

9.3.1.- Costes fijos

9.3.1.1.- Personal

Para establecer el personal necesario para la explotación de la planta, se ha seguido la experiencia en obras similares.

El personal al servicio será:

		Total (año)
1 Jefe de Planta (Dedicación: 10%)	48.000 €/año	4.800 €/año



1 Oficial electromecánico (50%)	35.000 €/año	17.500 €/año
Operario: 1 Peón ordinario (100%)	20.000 €/año	20.000 €/año
TOTAL GASTOS PERSONAL	42.300 €/año	

9.3.1.2.- Reparación y mantenimiento eléctrico y mecánico

Su coste según experiencia en obras similares asciende al 1,00 % anual sobre el coste de primera instalación el primer año. En esta partida se incluye la reparación de mecanismos, reposición de pequeño material mecánico, engrase, reparación y reposición de material eléctrico, mantenimiento de estaciones transformadoras y mantenimiento en general.

Calculado a partir del coste de Ejecución Material aproximado de Equipos electromecánicos, que asciende a: 1.260.000,00 €, el coste de mantenimiento ascenderá a 12.600,0 €/año.

9.3.1.3.- Análisis y control de procesos

Todos los análisis se harán en un laboratorio homologado. Se considerará la realización de una analítica completa cada quince días.

	Total (año)
Material de laboratorio (incluye reactivos)	3.500,00 €/año
1 Análisis quincenal completo 150,0€ x 2 x 12 meses	3.600,00 €/año
TOTAL PARTIDA ANÁLISIS	7.100,00€/año

9.3.1.4.- Administración y seguros

	Total (año)
Vestuario	600,00 €/año
Teléfono, agua potable	800,00 €/año
Otros gastos oficina	500,00 €/año
Seguro Responsabilidad Civil	1.200,00€/año
Transporte y medios materiales (Combustible, herramientas, jardinería)	3.000,00€/año
TOTAL ADMINISTRACIÓN Y SEGUROS	6.000,00€/año

9.3.1.5.- Conservación obra civil

Para la conservación de la obra civil, se estipula un porcentaje de un 0,40%



anual sobre su coste de implantación.

Calculado a partir del coste de Ejecución Material aproximado de Obra Civil de la EDAR, que asciende a: 1.500.000 €), la conservación de la obra civil ascenderá a **6.000,0 €/año**.

9.3.1.6.- Resumen costes de explotación fijos

1.- Personal	42.300,00 €/año
2.- Mantenimiento de Equipos	12.600,00 €/año
3.- Análisis	7.100,00 €/año
4.- Gastos administrativos	6.000,00 €/año
5.- Conservación Obra Civil	6.000,00 €/año
TOTAL GASTOS FIJOS	74.000,00 €/año.

(Sin incluir los gastos del término fijo de energía eléctrica).

9.3.2.- Costes variables

9.3.2.1.- Reactivos a emplear

Se tiene previsto emplear reactivos en los procesos de ajuste de pH, en el proceso de coagulación-floculación y antes de cada etapa de tratamiento biológico (requerimientos de nutrientes, alcalinidad y ajuste de pH).

En los ajustes de pH los reactivos a emplear serán NaOH en disolución al 50% y H₂SO₄ en disolución al 98%. El NaOH también se consumirá para cubrir los requisitos de alcalinidad en los tratamientos biológicos. La cantidad anual que se consumirá de ambos reactivos se conoce a partir de los requerimientos de cada reactivo, calculados en el apartado **7.4.2. Balances de masa**.

Se consumirán 382 toneladas de NaOH y 7,5 kg de H₂SO₄ anuales.

En el proceso de coagulación-floculación, los reactivos a emplear serán como coagulante FeCl₃ en disolución al 40% y como floculante Sifloc 1080D en disolución al 5%. La dosis de FeCl₃ que se ha considerado es de 100 ppm, y la dosis de floculante de 3,7 ppm. La cantidad anual que se consumirá de ambos reactivos se calcula a partir de los requerimientos de cada reactivo calculados en el apartado **7.4.2. Balance de masa**.



Se consumirán 119,7 toneladas de FeCl_3 y 1,8 toneladas de Sifloc 1080D anuales.

Los nutrientes requeridos por los procesos tratamiento biológico se comprarán como CINH_4 sólido al 99,5% de pureza y NaH_2PO_4 al 99% de pureza. Se añadirán en disolución de concentración 25 Y 80% respectivamente. La cantidad anual que se consumirá de ambos reactivos entre las dos etapas de tratamiento biológico, se estima a partir de los requerimientos de cada reactivo calculados en el apartado **7.4.2 Balance de masa**.

Así, se consumirán 298,4 toneladas de CINH_4 y 60,8 toneladas de NaH_2PO_4 anuales.

9.3.2.2.- Retirada y transporte de subproductos

Se tiene prevista la reutilización de los lodos generados en otras actividades por lo que en esta partida sólo será necesario en cualquier caso considerar el coste del transporte de los lodos deshidratados hasta el GRH (Gestor de Residuos de Huelva) que se encuentra a 40 km. Contando con un coste de transporte de 0,062€ por km y tonelada, se obtiene un coste anual de: 98.419 €/año.

9.3.2.3.- Energía eléctrica

Se estimará el coste de la energía eléctrica a partir de los costes existentes en plantas de tratamiento similares, tomando un valor de 30000 €/año teniendo en cuenta la disminución en esta partida por el aprovechamiento del 30% del biogás producido en energía eléctrica para el proceso de lodos activos.

9.3.2.4.- Resumen costes variables

A caudal medio:

Reactivos	135994 €/año.
Retirada de productos	98419 €/año.
Energía eléctrica	30000 €/año.
TOTAL COSTES VARIABLES	338413 €/año.

Se recogen a continuación los gastos de explotación anuales de la planta de tratamiento dimensionada.

9.3.3.- Resumen de costes anuales en explotación y mantenimiento

A continuación se muestra el resumen de los costes anuales en explotación y mantenimiento, recogido en gastos fijos (Tabla 9.3), gastos variables (Tabla 9.4), y costes totales o resumen de gastos totales (Tabla 9.5)

Tabla 9.3. Gastos fijos

GASTOS FIJOS	
Personal	
JEFE	4800
OFICIAL	17500
OPERARIO	20000
TOTAL PERSONAL	42300 €
Mantenimiento y conservación	
Coste de ejecución material de Equipos electromecánicos	1260000
Reparación/mantenimiento de equipos	12600
Coste de ejecución material de Obra civil	1500000
Conservación obra civil	6000
TOTAL MANTENIM Y CONSERVACIÓN	18600 €
Análisis y control de procesos	
Material laboratorio	3500
Análisis (1 por quincena)	3600
TOTAL ANÁLISIS	7100 €
Administración y varios	
Oficina	1500
Jardinería	1800
Seguros	1200
Otros	1500
TOTAL OTROS	6000 €
TOTAL	74000 €/AÑO

Tabla 9.4. Gastos variables anuales.

GASTOS VARIABLES	
DOSIFICACION DE REACTIVOS	
NaOH	
Servicio	Ajuste de pH
Densidad	1520 kg/m ³
Forma de adición	dis 50 %
Consumo diario	2277,06 kg/d
Consumo anual	382040,9 kg/año
Coste del producto	0,10 Euro/kg
Coste anual	38204,09 Euros
H₂SO₄	
Servicio	Ajuste de pH
Densidad	1825 Kg/m ³
Riqueza	98 %
Consumo diario	0,02 kg/d
Consumo anual	4,14 L/año
Coste del producto	50 Euro/L
Coste anual	207,0 Euros
Cloruro férrico	
Servicio	Coagulante
Dosificación media de producto comercial	100 mg/l
Densidad	1400 kg/m ³
Riqueza	dis 40 %
Consumo diario	357,3 kg/d
Consumo anual	119688,3 kg/año
Coste del producto	0,19 Euro/kg
Coste anual	22740,8 Euros
Sifloc 1080D	
Servicio	Floculante
Dosificación media de producto comercial	3,7 mg/L
Densidad	1200 kg/m ³
Forma de adición	dis 5%
Consumo diario	5,29 kg/d
Consumo anual	1771,4 kg/año
Coste del producto	1 Euro/kg
Coste anual	1771,4 Euros
CIN₄	
Servicio	Nutrientes biológico
Densidad	1500 kg/m ³
Forma de adición	dis 25% / en polvo
Consumo diario	890,88 kg/d
Consumo anual	298445,3 kg/año



Coste del producto	0,20 Euro/kg
Coste anual	59689,1 Euros

NaH₂PO₄

Servicio	Nutrientes biológico
Densidad	1920 kg/m ³
Forma de suministro	dis 80% / en polvo
Consumo diario	181,57 kg/d
Consumo anual	60827,2 kg/año
Coste del producto	0,22 Euro/kg
Coste anual	13382,0 Euros
COSTE TOTAL	135994 €/AÑO

TRANSPORTE DE RESIDUOS

Caudal diario	1200 m ³ /d
Caudal anual	402000 m ³ /año
Residuos desbaste	
t residuo/año	3654,2 t/año
Densidad aproximada del residuo	0,995 t/m ³
m ³ residuo/año	3672,5 m ³ /año
Reducción aproximada de volumen tras tratamiento	60,0 %
m ³ residuo/año	1469,0 m ³ /año
t residuo/año	1461,7 t/año
Coste medio transporte	2,48 euros/t
Coste anual	3624,9 euros/año

Fangos aceitosos

t residuo/año	43313,6 t/año
Densidad residuo aprox, ton/m ³	0,995 t/m ³
m ³ residuo/año	43531,3 m ³ /año
Reducción aproximada de volumen tras tratamiento	60,0 %
m ³ residuo/año	17412,5 m ³ /año
t residuo/año	17325,5 t/año
Coste medio transporte	2,48 euros/t
Coste anual	42967,1 euros/año

Fangos biológicos

t residuo/año	20898,01 t/año
Densidad residuo aprox	1,02 t/m ³
m ³ residuo/año	20488,2 m ³ /año
Coste medio transporte	2,48 euros/t
Coste anual	51827,1 euros/año
COSTE TOTAL	98419 €/AÑO

ENERGÍA ELÉCTRICA

Estimación	30000 €/AÑO
TOTAL	264413 €/AÑO

Tabla 9.5. Resumen de gastos

RESUMEN DE GASTOS		
GASTOS FIJOS		
Personal	42.300	Euros/año
Mantenimiento y conservación	18.600	Euros/año
Administración y varios	6.000	Euros/año
Analítica y laboratorio	7.100	Euros/año
TOTAL GASTOS FIJOS	74.000	Euros/año
GASTOS VARIABLES		
Evacuación de residuos	98.419	Euros/año
Dosificación de reactivo	135.994	Euros/año
TOTAL GASTOS VARIABLES	234.413	Euros/año
GASTOS TOTALES		
TOTAL GASTOS FIJOS	74.000	Euros/año
TOTAL GASTOS VARIABLES	234.413	Euros/año
Añadiendo el coste estimado total en energía eléctrica	30.000	Euros/año
TOTAL GASTOS	338413,4	€/año
Precio m³ agua tratada	0,84	€/m³

Sin tener en cuenta la inversión inicial en obra y equipos electromecánicos, se obtiene un precio medio estimado de 0,84 €/m³ de agua tratada.

9.4.- BENEFICIO AMBIENTAL

Por último cabe destacar el alto beneficio ambiental que el proceso de depuración de aguas residuales tiene además asociado, y que a menudo no es calculado por no tener fijado un precio de mercado. A partir de las contribuciones existentes en la bibliografía [75] sobre este tema, se calcula el beneficio ambiental de la línea de tratamiento propuesta considerando un precio sombra fijo de cada contaminante. Estos precios sombra recogidos en la **Tabla 9.3**, representarán el daño ambiental evitado con la depuración de cada contaminante.

Tabla 9.3. Precios sombra asignados a los outputs no deseables de la línea de tratamiento de aguas.

SS, €/kg	DBO, €/kg	DQO, €/kg
0,01	0,058	0,14

Las cantidades de cada contaminante eliminadas por la línea de tratamiento propuesta se recogen en la **Tabla 9.4**, así como el valor del beneficio

ambiental generado por la depuración.

Tabla 9.4. Valor ambiental estimado de la depuración utilizando la línea de tratamiento de aguas propuesta.

Contaminante	Contaminante eliminado, kg/año	Valor ambiental, €/año
SS	188.498,7	2.682.771,9
DBO	10.990.800,9	637.466,4
DQO	188.498,7	1.884,9
TOTAL	30.341.956,6	3.322.123,4

Conocidas las cantidades de cada contaminante eliminadas, se estima el beneficio ambiental que aportará la depuración de las aguas mediante la línea de tratamiento descrita en un valor de 3.322.123,4 €/año.



10. IMPACTO AMBIENTAL

10.1.- DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y UBICACIÓN DEL PROYECTO.

10.1.1.- Situación del proyecto

El proyecto se sitúa en el municipio de Palos de la Frontera, situado al sureste de la provincia de Huelva, comunidad autónoma de Andalucía.



Figura 10.1. Situación del proyecto.

10.1.2.- Descripción del proyecto

El proyecto se basa en la ejecución de la línea de aguas de una planta de tratamiento modelo de aguas residuales procedentes de la industria de producción de biodiesel.

La línea se ha proyectado para un caudal medio diario de $Q_m=1200 \text{ m}^3/\text{d}$. La parcela donde se ubica la planta de tratamiento se encuentra en el polígono industrial Nuevo Puerto, y los efluentes serán descargados al río Odiel.

Debido a la gran carga contaminante fundamentalmente constituida por materia orgánica y residuos de naturaleza aceitosa, se ha considerado un sistema de depuración con los siguientes elementos:

➤ Línea de agua:

Pretratamiento:

Rejas de protección y desbaste fino, bombeo de agua bruta

Tratamiento primario:

Tanque de homogeneización con ajuste de pH

Coagulación – Floculación

Flotación DAF

Tratamiento biológico:

Tratamiento anaerobio UASB

Tratamiento aerobio por fangos activos

➤ Situación inicial

Según la caracterización del agua residual realizada en el apartado 3.4.1.

Caracterización del agua residual del presente proyecto, se tiene:

- DBO: 27400 mg/l
- DQO: 11500 mg/l
- SST: 1900 mg/l
- Grasas y aceites: 4100 mg/l

10.2.- IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS POTENCIALES

Teniendo en cuenta las fases de obra, explotación y clausura de un proyecto de estas características, las acciones que generan afecciones al medio son:

Tabla 10.1. Acciones que generan afecciones al medio.

ACCIONES	<i>FASE DE OBRA</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Apertura y acondicionamiento de accesos y caminos - Desbroce - Movimiento de tierras - Transporte, almacenaje y retirada de material. - Demolición y reposición de firmes. - Colocación de las tuberías. - Obra civil, equipamiento y urbanización de la planta de tratamiento de aguas residuales.
	<i>FASE DE EXPLOTACIÓN</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupación del espacio por la infraestructura. - Tratamiento del agua - Labores de mantenimiento
	<i>FASE DE CLAUSURA</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Desmantelamiento de infraestructuras obsoletas. - Retirada de material. - Restauración de las superficies afectadas

Tabla 10.2. Factores ambientales que pueden verse afectados por el proyecto.

<i>FACTORES AMBIENTALES QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Aire - Recursos Geológicos (Suelo) - Hidrología - Flora - Fauna - Socioeconomía - Paisaje
--	---

Para la identificación de impactos [79], se construirá una matriz cuyas columnas son las acciones que pueden alterar el medio y cuyas filas son los factores ambientales que pueden verse afectados.

Así, se señalará si existe interacción entre cada pareja acción - factor ambiental de la matriz.

A continuación se representa una matriz con los impactos potenciales asociados a las acciones de la fase de obra (**Tabla 10.3**) y otra con los



- Planta de tratamiento de aguas residuales
procedentes de la producción del biodiésel -



impactos potenciales asociados a la fase explotación (**Tabla 10.4**) de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 10.3. Impactos potenciales asociados a la **fase de obra**.

		Accesos y caminos	Desbroce	Movimiento de tierras	Transporte, almacenaje y retirada de material	Demolición y reposición de firmes	Colocación de tuberías	Obra civil, equipamiento y urbanización
AIRE	Aumento de partículas en suspensión							
	Ruidos							
SUELO	Aumento de riesgos de erosión							
	Alteración de estabilidad del suelo							
	Posible contaminación por vertidos							
HIDROLOGÍA	Alteración de la red de drenaje							
	Alteración de la calidad del agua							
VEGETACIÓN	Eliminación y degradación							
FAUNA	Desaparición y/o modificación de hábitats							
	Alteración de las poblaciones							
MEDIO SOCIO ECONÓMICO	Dinamización económica							
	Molestias a la población							
	Afección al Patrimonio Histórico-Artístico							
	Interferencias con ordenación del territorio							
PAISAJE	Pérdida calidad							
	Intrusión visual							

Tabla 10.4. Impactos potenciales asociados a la fase de explotación.

		Ocupación del espacio por la infraestructura	Funcionamiento	Labores de mantenimiento
AIRE	Aumento de partículas en suspensión			
	Ruidos			
SUELO	Aumento de los riesgos de erosión			
	Alteración de la estabilidad del suelo			
	Posible contaminación por vertidos			
HIDROLOGÍA	Contaminación por vertidos			
	Alteración de la calidad del agua			
VEGETACIÓN	Eliminación y degradación			
FAUNA	Desaparición y/o modificación de hábitats			
	Alteración de las poblaciones			
MEDIO SOCIOECONÓMICO	Dinamización económica			
	Afección al Patrimonio Histórico-Artístico			
	Molestias a la población			
PAISAJE	Pérdida de calidad			
	Intrusión visual			

10.3.- VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

El objeto del proyecto, es aportar soluciones a la problemática medioambiental que supone el vertido de las aguas residuales generadas por la producción de biodiesel. Por lo tanto, el proyecto constituye en sí mismo un conjunto de medidas preventivas y protectoras respecto a los factores medioambientales, especialmente respecto al factor aguas. Por ese motivo, se identifican además de impactos negativos un número significativo de impactos positivos.

A partir de los impactos identificados ^[80] en las **Tablas 10.3 y 10.4**, se

construye el diagrama representado en la **Figura 10.1**, que muestra el número de impactos ambientales por factor ambiental.

Número de impactos ambientales por factor ambiental

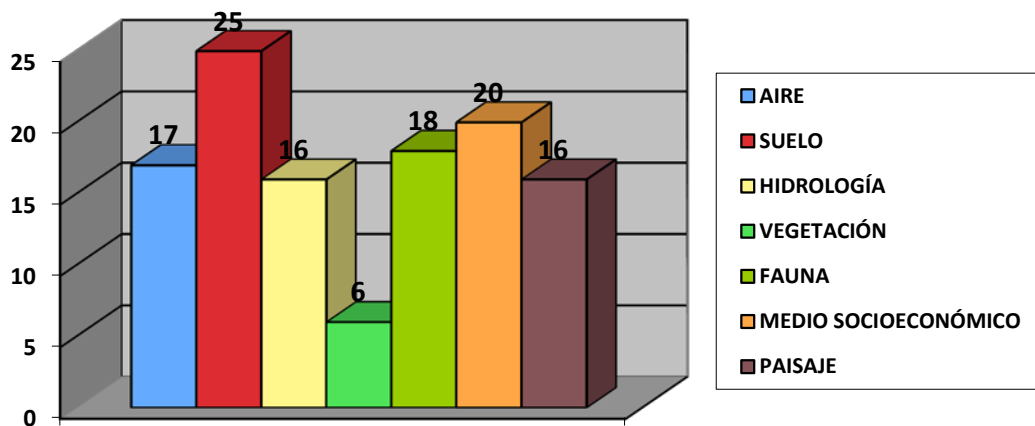


Figura 10.1. Número de impactos ambientales por factor ambiental.

En base a la **Figura 10.1**, que representa el número de impactos por factor ambiental, pueden definirse el suelo y el medio socioeconómico como los factores sobre los que recae un mayor número de impactos.

En el caso del suelo, los impactos son mayoritariamente negativos, aportando la fase de obras impactos sobre el suelo muy superiores a los producidos en la fase de explotación.

Sin embargo, en cuanto al medio socioeconómico todos los impactos son positivos, puesto que todas las acciones a realizar tanto en fase de obra como de explotación, requerirán de mano de obra que generará empleo.

Otro de los factores más afectados durante la fase de construcción será el aire, por el considerable aumento de partículas en suspensión y de ruido durante esta etapa.

Durante la fase de explotación, el funcionamiento de la depuradora conllevará la emisión de olores desagradables como característica del propio proceso y por la generación y gestión de residuos del pretratamiento y fangos del proceso, siendo este el principal impacto negativo de la fase de explotación (molestias a la población).

El proyecto sin embargo afectará positivamente a la calidad de las aguas y a determinados hábitat faunísticos (acuáticos especialmente), a parte de la influencia positiva sobre factores económicos relacionados con la demanda de mano de obra ya comentada.

Sobre la salud pública y seguridad se dará otro impacto de carácter positivo, derivado de la depuración del agua mediante las técnicas adecuadas para este tipo de aguas residuales, lo que implica una calidad del agua de salida muy superior.

10.4.- MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

A continuación se describen las medidas proyectadas para la prevención o corrección de los efectos ocasionados por la realización del proyecto, en función de los distintos elementos del medio.

10.4.1.- Medidas protectoras de carácter general

Hay una serie de medidas de carácter general que previenen la aparición de muchas afecciones posteriores, entre las que se encuentran:

- ❖ Control de los movimientos de la maquinaria, limitar en lo posible accesos a la obra

Utilizar únicamente como accesos y rutas de movimiento de obras, los caminos y carreteras existentes, salvo circunstancias excepcionales.

La zona de trabajo se balizará de manera que el tránsito de maquinaria y todas aquellas labores propias de la obra se den dentro del perímetro acotado.

10.4.2.- Protección de la calidad del aire

Con el fin de prevenir y minimizar el efecto del polvo y otros contaminantes sobre las zonas de interés por vegetación o por fauna, se adoptarán las siguientes medidas:

- ❖ Control de la generación de polvo

Para evitar la producción de polvo durante la fase de construcción, se deberán llevar a cabo acciones protectoras como riego de los materiales, caminos y pistas, con la frecuencia con que las condiciones atmosféricas lo hagan necesario.

Deberá retirarse periódicamente el material pulverulento acumulado en las zonas de tránsito de vehículos, cuya velocidad de circulación por las pistas de acceso deberá limitarse a la más conveniente en cada momento para reducir la dispersión de partículas.

- ❖ Control de las emisiones de gases y partículas de la maquinaria

Las emisiones de gases y partículas de la maquinaria de obra se encontrarán dentro de los límites legalmente establecidos, para lo que se realizarán las inspecciones reglamentarias y se controlará el adecuado mantenimiento de los sistemas incorporados a las máquinas para limitar las emisiones.

❖ Olores

Se mantendrá un control estricto sobre las instalaciones, equipos y sistemas capaces de provocar olores molestos. Con el fin de anular, controlar o aminorar su producción y reducir su dispersión, se utilizarán aquellas tecnologías disponibles, económicamente viables, que sean de aplicación.

10.4.3.- Prevención del ruido. protección acústica. vibraciones.

❖ Protecciones acústicas adicionales

Se deberán adaptar los horarios y condiciones de funcionamiento de la maquinaria en fase de obras para que sean adecuados para mantener los niveles de ruido en el entorno por debajo de los límites establecidos en la normativa aplicable con respecto a protección acústica (Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en la que se establecen las condiciones a cumplir por los niveles sonoros o de vibraciones producidos en actividades clasificadas).

Se estudiará, en caso de que sea necesario, la limitación de los trabajos que causen mayores molestias y se evitarán, con carácter general, los trabajos nocturnos en la zona de obras.

❖ Control de las emisiones sonoras de la maquinaria

Se realizarán las revisiones y labores de mantenimiento en la maquinaria de obra para asegurar una emisión de ruido dentro de los niveles aceptables.

Se vigilará el correcto funcionamiento de los dispositivos anti-ruido de los vehículos y maquinaria de obra, así como del cumplimiento y vigencia de las inspecciones técnicas sobre la materia, y del cumplimiento de la normativa que en materia de ruido pudiera ser establecida por los Ayuntamientos. El control de la maquinaria se repetirá si es preciso de forma anual.

En el caso de detectar que una máquina sobrepasa los umbrales admisibles, se paralizará hasta que sea reparada o sustituida por otra. Asimismo, se limitará la velocidad de los vehículos.

Todos los motores de la instalación, incluyendo motores de bombas, compresores y demás automatismos presentes en la planta se aislarán adecuadamente, de modo que produzcan la menor cantidad de ruido y vibraciones durante su funcionamiento.

10.4.4.- Protección y conservación de los suelos

❖ Retirada de la tierra vegetal

Se garantizará la retirada selectiva del material superficial (tierra vegetal) que, por sus características físicas, químicas y biológicas, se considere utilizable así como su manejo cuidadoso para no destruir este recurso natural.



❖ Gestión de residuos

Los residuos generados durante la fase de construcción se gestionarán en función de su catalogación de acuerdo con el Listado Europeo de Residuos (LER). Si no se valorizaran estos residuos en la propia obra se deberán entregar a gestor autorizado para su valorización.

Los residuos peligrosos (aceites usados, lubricantes, trapos contaminados, envases contaminados, pilas, fluorescentes etc.) estarán en contenedores específicos a cubierto y los líquidos sobre cubetos de contención para prevenir derrames y lixiviados.

Cambios de aceite de maquinaria, bombas y elementos que así lo requieran se realizarán en el lugar habilitado para tal fin, con el objetivo de evitar derrames.

En caso de producirse accidentalmente depósitos de residuos o vertidos de aceites, combustibles, u otros residuos peligrosos, se procederá inmediatamente a su recogida y deberán ser entregados a gestor autorizado, según las características del depósito o vertido. Se retirará igualmente, la porción de suelo contaminado si existiese.

Los lodos de depuración serán trasladados bien al CTR Gestión de Residuos Huelva SL (Polígono Los Bermejales, 17, 21840 Niebla, Huelva).

10.4.5.- Protección de las aguas y del sistema hidrológico

❖ Medidas de carácter general

El paso del emisario en los puntos que atravesase cauces deberá realizarse durante le época de máximo estío, evitando en lo posible el contacto del hormigón o cualquier otro material de obra utilizado con el agua.

Se restringirán al mínimo las actividades que supongan un incremento de la turbidez de agua, como es el paso de la maquinaria o cualquier otro vehículo a través de estos cauces.

❖ Limpieza de escombros en cauces

En ningún momento se acumularán materiales sobrantes de obra en las proximidades de los cauces existentes, evitando el aporte de sólidos a sus aguas.

Todas las obras referentes a la depuradora, así como cualquier otra actividad auxiliar, deberán planificarse y realizarse de modo que no se aporten tierras, escombros o sustancias contaminantes que puedan alterar el caudal y la calidad de las aguas de los cauces, zonas húmedas y aledaños.

❖ Protección del suelo contra derrames y adecuada gestión de aceites y residuos

Se deberá realizar una adecuada gestión de aceites y residuos durante la

construcción, evitando su manejo incontrolado y la posibilidad de contaminación inducida. Para ello se debe proceder a:

Realizar las operaciones de cambio de aceite y lubricante en centros de gestión autorizados o a pie de obra en los lugares señalados al efecto.

Entrega a gestor autorizado de suelos contaminados por derrames accidentales. Se deberá contar con los planes y medidas de emergencia para vertidos accidentales adecuados.

Prohibición de vertidos de aceites u otras sustancias en las proximidades del cauce del río Odiel y cercanos.

❖ Control de la calidad de las aguas

Antes de iniciar las obras, se tomarán muestras de agua del cauce de vertido, a fin de elaborar un control de las posibles variaciones de la calidad de las aguas.

Protección y conservación de la vegetación natural

❖ Corta o poda del arbolado

Se deberá evitar la corta de arbolado tanto en la parcela de la EDAR como en la instalación de los emisarios. En el caso de que fuera necesaria se deberá tramitar la correspondiente solicitud de corta ante la Delegación Territorial de Agricultura, pesca y Medio Ambiente de Huelva.

❖ Formación de los operarios

Los operarios de maquinaria recibirán la formación adecuada para que en sus trabajos tengan cuidado y no dañen innecesariamente la vegetación circundante existente.

❖ Medidas contra incendios

Se controlarán todas las actividades que puedan conllevar la generación de fuego, así como la presencia continua en obra de medios de extinción.

Protección y conservación de la fauna

❖ Restricciones épocas de trabajo, protección de la avifauna

Se respetarán los períodos de cría de la avifauna presente en la zona.

Los elementos conductores serán forrados con materiales termorretráctiles en aquellos puntos que puedan suponer un peligro para la electrocución de las aves

10.4.6.- Integración paisajística y restauración ambiental

❖ Medidas generales

Eliminación adecuada de los materiales sobrantes en las obras y de cualquier vertido accidental, una vez hayan finalizado los trabajos de instalación de las tuberías, restituyendo en lo posible la forma y aspectos originales del terreno.



Restitución de los caminos y de todas las obras que sea necesario cruzar y/o utilizar y que hayan resultado dañadas.

La capa de tierra vegetal acopiada será utilizada en la restauración de la capa superficial de esas áreas degradadas.

❖ Integración paisajística

Los acabados exteriores de los edificios e instalaciones auxiliares presentarán tonalidades cromáticas acordes con las características del entorno y las tradiciones locales, preferentemente rojizas para las cubiertas y ocre o terrosas para los paramentos, dando preferencia a los acabados mates sobre los brillantes o metalizados y al cumplimiento de la normativa urbanística. Deberán cuidarse los materiales a emplear en la construcción, que serán los tradicionales que se usan en la zona.

En el vallado perimetral, no se pondrá alambre de espino en el último hilo del vallado, ni otros elementos cortantes o punzantes.

Además una vez finalizada la obra se recogerán los restos de materiales sobrantes de modo que no se generen impactos visuales ni contaminación del entorno.

❖ Restauración ambiental

Para la restauración ambiental del entorno de la EDAR se utilizarán principalmente especies autóctonas. Se tendrán en cuenta además el Catálogo Nacional de Materiales de Base (CNMB), para seleccionar el origen más adecuado de las especies a utilizar.

La restauración ambiental incluirá todos los terrenos afectados por las obras, y las labores de restauración, se basarán en la siembra de las mismas especies que fueron eliminadas en fase de construcción.



11. LEGISLACIÓN

En este apartado se realiza una recopilación de la legislación básica a nivel europeo, estatal y autonómico que regula los indicadores ambientales relativos a las aguas.

11.1.- NORMATIVA EUROPEA

- ✓ **Directiva 2000/60/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DOUE nº 327, 22-Dic-2000).

Modificada por:

- ▶ M1) **Decisión nº 2455/2001/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de noviembre de 2001. Diario Oficial nº L 331 p.1 fecha 15.12.2001
 - ▶ M2) **Directiva 2008/32/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de marzo de 2008. Diario Oficial nº L 81 p.60 fecha 20.3.2008
 - ▶ M3) **Directiva 2008/105/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008. Diario Oficial nº L 348 p.84 fecha 24.12.2008
 - ▶ M4) **Directiva 2009/31/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009. Diario oficial nº L 140 p.114 fecha 5.6.2009
- ✓ **Directiva 2010/75/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). (DO L 334 de 17.12.2010).
 - ✓ **Directiva 2009/90/CE** de la Comisión, de 31 de julio de 2009, por la que se establecen, de conformidad con la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas. (DO L 201 de 1.8.2009).
 - ✓ **Directiva 2006/11/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad. (DO L 64 de 4.3.2006).

11.2.- NORMATIVA NACIONAL

- ✓ **Real Decreto 849/1986**, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (BOE nº 103 de 30 de abril de 1986).
- ✓ **Orden ARM/1312/2009**, de 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo. (BOE nº 128, 27-May-2009).
- ✓ **Real Decreto Legislativo 1/2001**, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (BOE nº 176, 24-Jul-2001).
- ✓ **Ley 10/2001**, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. (BOE nº 161, 6-Jul-2001).
- ✓ **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, por el que se deroga la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos y suelos contaminados. (BOE nº 181, 29-Jul-2011).
- ✓ **Ley 16/2002**, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (BOE nº 157, 2-Jul-2002).
- ✓ **Ley 5/2013**, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE nº 140, 12-Jun-2013). De esta manera se culmina la trasposición de la Directiva 2010/75/UE sobre las Emisiones Industriales.
- ✓ **Real Decreto 815/2013**, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (BOE nº 251, 19-Oct-2013).
- ✓ **Real Decreto 2090/2008**, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre de Responsabilidad Ambiental. (BOE nº 308, 23-Dic-2008).

11.3.- NORMATIVA AUTONÓMICA ANDALUZA

- ✓ **Ley 7/2007**, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. (BOE nº 190, 9-Ago-2007) (BOJA nº 143, 20-Jul-2007). La Ley 7/2007 de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (GICA) constituye el marco normativo para el desarrollo de la política ambiental en Andalucía en materia de calidad y protección ambiental.
- ✓ **Ley 9/2010**, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía. (BOE nº 208, 27-Ago-2010) (BOJA nº 155, 9-Ago-2010).
- ✓ **Decreto 292/1995**, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación del Impacto Ambiental (BOJA nº 166, 28-Dic-1995).



12. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha dimensionado la **línea de aguas** de una instalación de **tratamiento de aguas residuales** de 60 m³/h de capacidad generadas por una industria de producción de **biodiesel**. De acuerdo con los objetivos previamente establecidos, se procede a señalar las conclusiones más relevantes.

- Tras la revisión bibliográfica realizada se concluye que el dimensionado de una línea de tratamiento estandarizada y adecuada para este tipo de aguas es una **necesidad real** tanto bajo el punto de vista ambiental como económico para este sector. El endurecimiento de la legislación en materia ambiental, junto con la situación del sector en la actualidad en recuperación tras la crisis, deben llevar a esta industria a considerar el estudio e implantación de un tratamiento adecuado y propio para sus aguas residuales que sea viable desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.
- A partir del estudio del proceso de producción del biodiesel, se identifican los focos de generación de aguas residuales, entre los que se encuentran las aguas de pretratamiento, purgas en calderas de vapor y torres de refrigeración, limpiezas de tanques y zonas de almacenamiento, condensados de las etapas de secado de aceite y biodiesel y aguas sanitarias, destacando la etapa de lavado del biodiesel por el volumen de aguas generado.
Debido a que las **aguas de lavado** representan el mayor porcentaje en volumen de aguas generado en este tipo de industria y su carga contaminante es en cualquier caso superior al resto de aguas de proceso se seleccionan estas aguas de lavado como corriente a tratar en el proceso de tratamiento propuesto.
- El tipo de contaminantes presentes en las aguas residuales de una industria de biodiesel son bien conocidos. Por lo general son aguas alcalinas con un alto contenido de aceite residual, sales solubles (cloruros y sulfatos), trazas de catalizador, jabones e impurezas orgánicas (ácidos grasos libres, metilésteres, acilgliceroles, metanol y glicerol) y con un contenido en nitrógeno y fósforo extremadamente bajo. Sin embargo las concentraciones de dichos contaminantes en el agua residual son difíciles de establecer porque dependen de forma directa de la materia prima empleada y del proceso de producción de biodiesel empleado.

Tras una revisión exhaustiva de la bibliografía disponible sobre el tipo

de aguas de estudio se extrae como conclusión, que una caracterización media adecuada para el dimensionado de líneas de tratamiento para este tipo de aguas se encontrará en rangos próximos a **25 g/L DQO, 10 g/L DBO, 1,5 g/L SST, y 4 g/L de aceites y grasas.**

- Tras analizar las diferentes tecnologías de tratamiento disponibles en el mercado, en base a factores como sus eficiencias de eliminación, el espacio requerido o los costes de explotación, se concluye que será necesario incluir en la secuencia de tratamiento de las aguas residuales de este tipo de industria, una etapa de **tratamiento físico-químico**, imprescindible para la eliminación de grasas y aceites y sólidos suspendidos, previa a una etapa **tratamiento biológico**. Este último se compondrá de una primera fase anaerobia previa a una fase aerobia, por la alta carga de materia orgánica del tipo de aguas estudiado.
- Partiendo de valores típicos para los parámetros de diseño básicos de cada proceso, se concluye que para un caudal de 60 m³/h de agua residual de entrada, los equipos que conforman la línea de tratamiento y las dimensiones necesarias para cada uno, serán:

PRETRATAMIENTO + TRATAMIENTO PRIMARIO (Desbaste-Homogeneización-Coagulación/floculación-Flotación)

- o Un tanque de **homogeneización** de sección circular con capacidad 65 m³, de 4,2 m de diámetro y 4,5 m de altura, con sistema de agitación para mezclado mecánico con consumo medio de 3,6 kWh.
- o Un **mezclador estático** tipo KVM, con diámetro nominal 273 mm y longitud 683 mm, con dos elementos internos y dos puertos de conexión para el mezclado rápido de reactivos.
- o Una **cámara de floculación** con capacidad de 31 m³, diámetro 3,3 m y altura 3,6 m, con sistema de agitación mecánico de baja potencia con consumo 0,16 kW.
- o Un sistema de **flotación por aire disuelto** con recirculación del efluente de capacidad 80,5 m³, con una altura del tanque de 2,9 m y dimensiones del área de flotación de 4x7 m². El requerimiento de aire comprimido será de 9 m³/h, suministrado a partir de un sistema de aire comprimido con compresor centrífugo que permite una presión de operación de 5 atm en la

corriente de recirculación saturada en aire.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO (Anaerobio + Aerobio)

- Un **reactor anaerobio UASB** con capacidad 541,6 m³, diámetro 9,9 m y altura 9,5 m y con intercambiador de calor externo para mantener la temperatura en el interior del reactor (T=35°).
 - Un sistema de **lodos activos**, constituido por un reactor de aireación con capacidad de 600 m³ de sección rectangular y dimensiones 9x18x4,5m con difusores cerámicos situados en su base inferior para cubrir las necesidades de aireación, seguido de un decantador secundario de diámetro 9 m y capacidad 243 m³, con una carga de sólidos de 3,6 kg/m²h y carga sobre vertedero de 4,64 m³/m²h.
- Se han estimado los **beneficios económicos** asociados a la línea de tratamiento propuesta que corresponderían: 1) valorización de los lodos producidos; 2) aprovechamiento del biogás generado; 3) recogida y recirculación del agua tratada para su reutilización en el proceso, se llegarían a obtener ingresos por el valor de **3.035.521,6 €/año**, de los cuales: 45.158 €/año corresponderían a ingresos por la venta de biogás, 615.060 €/año corresponderían a ingresos obtenidos por el uso de la línea de tratamiento propuesta y reutilización del agua tratada, y 2.375.303,6 €/año por la venta de los lodos producidos.
- De la evaluación de los costes anuales de explotación y mantenimiento de la instalación propuesta se concluye que, en el peor de los escenarios, que sería aquel en que no se obtuvieran ingresos por la venta de los lodos producidos, el **precio medio** estimado de **agua tratada** ascendería a **0,84€/m³**.
- El **estudio de seguridad** de la línea de tratamiento de aguas revela que los principales riesgos de la instalación están asociados a la posibilidad de **incendio y explosión** y **formación de atmósferas explosivas**. Los puntos de la línea de tratamiento en los que estos riesgos aparecerán con mayor probabilidad son el digestor anaerobio UASB y el sistema de aprovechamiento de biogás. Otros riesgos que se deben valorar por su importancia, son los relacionados con los trabajos realizados en espacios confinados y con

el manejo de agentes químicos.

- Del **análisis HAZOP** realizado a la unidad de flotación por aire disuelto, se extraen como principales riesgos en cuanto a seguridad, el riesgo de explosión por sobrepresión en los tanques de aire comprimido, que se solventará con un control de nivel máximo en el tanque.
- El **estudio de impacto ambiental**, realizado en base a una matriz de impactos revela que los impactos negativos más significativos están relacionados con el suelo y la calidad del aire (aumento de partículas en suspensión) y ruido en la fase de obra. En la fase de explotación destacan la emisión de olores desagradables y la generación y gestión de residuos de pretratamiento y fangos de proceso. Sin embargo, el **impacto ambiental** derivado de este proyecto será **en esencia positivo** en lo referido a la calidad de las aguas, fauna, medio socioeconómico, salud pública y seguridad. El proyecto permitirá depurar las aguas residuales hasta los límites de vertido que establece la legislación, no comprometiendo la vida de determinados habitats faunísticos (acuáticos especialmente). De forma colateral, tendrá una influencia positiva sobre factores económicos relacionados con la demanda de mano de obra en las fases de obra y explotación.



13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CIEMAT. http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/renovables.htm Última consulta [10/10/2014].
- [2] Scielo. <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v22n2/art05.pdf>. Hincapié-Mejía et al. Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel, 2010. Última consulta [10/10/2014]
- [3] Biodiesel. <http://www.biodiesel.com/biodiesel/history/>. Última consulta [11/10/2014].
- [4] British Petroleum (BP). <http://www.bp.com/statisticalreview>. BP Statistical review of world energy 2014. BP plc, Londres; Junio 2014. Última consulta [08/10/2014].
- [5] Agencia andaluza de la energía. <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/>. INFORME DE INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS ANDALUCÍA. Consejería de economía, innovación, ciencia y empleo. Septiembre 2014. Última consulta [12/10/2014].
- [6] Eurobserv-er. <http://www.eurobserv-er.org/>. Eurobserv-er. BIOFUELS BAROMETER, EurObersv'ER, 2013 Última consulta [18/10/2014].
- [7] Agencia andaluza de la energía. <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/>. INFORME DE INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS Provincia de HUELVA. Consejería de economía, innovación, ciencia y empleo. Marzo 2014. Última consulta [18/07/2014].
- [8] Osarumwense, J.O. Management of Downstream Waste Products from Purification of Crude Biodiesel Fuel. Australian Journal of Engineering Research. SCIE Journals.
- [9] Scielo. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n3/v29n3a03.pdf>. Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química. Rojas et al, 2009. Última consulta [15/11/2014]

- [10] Sedici. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26938/Documento_completo.pdf?sequence=1- Uso de agua en la purificación de biodiesel: optimización mediante el control de propiedades eléctricas de efluentes. Sorichetti y Romano, 2012. Última consulta [20/10/2014].
- [11] Biooils. http://www.bio-oils.com/wp-content/uploads/2014/02/Planta_de_Biodiesel_La_Rabida.pdf. Última consulta [15/11/2014]
- [12] Suehara et al. Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification. J. Biosci Bioeng, 2005.
- [13] Zhang et al. Biodiesel production from wastecooking oil: 1.Process design and technological assessment. Bioresour Technol, 2003.
- [14] Kiwjaroun et al. Studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical metanol methods. J Clean Prod, 2009.
- [15] Varanda et al. Life cycle analysis of biodiesel production. Fuel Process Technol, 2011.
- [16] De Boni LAB, et al. Tratamento físico- químico da agua de lavagem proveniente da purificação do biodiesel. [Physico- chemical treatment of wastewater from biodiesel purification]. Periód Tch Quím, 2007.
- [17] Berrios y Skelton. Comparison of purification methods of biodiesel. Chem Eng J, 2008.
- [18] Srirangsan et al. Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation process. Environ Asia, 2009.
- [19] Jaruwat et al. Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment. Energy Converse Manage, 2010.
- [20] Rattanapan et al. Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation

processes. Desalination, 2011.

[21] S. Salcedo Serra. Caracterización de biodiesel: principales parámetros. BIO-OIL: ENCUENTRO SECTORIAL INTERNACIONAL DEL BIODIESEL, Vigo, Febrero 2006.

[22] Phukingngam et al. Anaerobic baffled reactor treatment of biodiesel-processing wastewater with high strength of methanol and glycerol: reactor performance and biogás production. Chem Pap, 2011.

[23] Hincapié-Mejía et al. Fotocatálisis heterogénea y foto-fentón aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel [Heterogeneous photocatalysis and photo-Fenton applied to the washwater treatment of biodiesel production]. Inform Tecnológ, 2011.

[24] Patiño et al. Oxidación electroquímica y ozonización aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel [Electrochemical oxidation and ozonation applied to the treatment of wastewaters from biodiesel production]. Inform Tecnológ, 2012.

[25] Ramírez et al. Wastewater treatment from biodiesel production via a coupled photo-Fenton-aerobic sequential batch reactor (SBR) system. Water Sci Technol 2012.

[26] De Gisi et al. Full-scale treatment of wastewater from a biodiesel fuel production plant with alkalicatalyzed transesterification. Environ Technol, 2013.

[27] Goldani et al. Tratamento físico-químico dos efluentes líquidos provenientes da purificação do biodiesel [Physico chemical treatment of wastewater from biodiesel purification]. Porto Alegre, Brasil: Anais do II Simpósio Estadual de Agroenergia – II Reunião Técnica Anual de Agroenergia; 2008 (November 4-6, 2008).

[28] Sawain et al. The Effect of pH on the stability of grease and oil in wastewater from biodiesel production process, The 10th annual conference of Thai Society of Agricultural Engineering “International conference on innovations in agricultural, food and renewable energy productions for mankind”, April 1–3, 2009, Surasammanakhan, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand, 2009.

- [29] Sawain et al. Destabilization and demulsification of wastewater from biodiesel production by aluminum salts. *Thai J Environ Eng*, 2010.
- [30] Siles et al. Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. *Bioresour Technol*, 2010.
- [31] Siles et al. Physical-chemical and biomethanization treatments of wastewater from biodiesel manufacturing. *Bioresour Technol*, 2011.
- [32] Pitakpoolsil y Hunsom. Adsorption of pollutants from biodiesel wastewater using chitosan flakes. *J Taiwan Inst Chem Eng*, 2013.
- [33] Vlada et al. The wastewater treatment in the biodiesel production with alkali-catalyzed transesterification. *Renewable and Sustainable Energy*, 2014.
- [34] Liu et al. Adsorption of glycerol from biodiesel washwaters. *Environ Technol*, 2009.
- [35] Chavalparit y Ongwandee. Optimizing electrocoagulation process for the treatment of biodiesel wastewater using response surface methodology. *J Environ Sci*, 2009.
- [36] De Meneses et al. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais [Treatment of biodiesel wastewater by electrocoagulation/floatation process: investigation of operational parameters]. *QuimNova*, 2012.
- [37] Ahmadi et al. Removal of oil from biodiesel wastewater by electrocoagulation method. *Korean JChem Eng*, 2011.
- [38] Ngamlerdpokin et al. Remediation of biodiesel wastewater by chemical and electrocoagulation: A comparative study. *J Environ Manage*, 2011.
- [39] *Industrial Water Quality*, W. Wesley Eckenfelder. McGraw-Hill, 4th ed. New York, 2000.
- [40] Restrepo et al. La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el



tratamiento de aguas. Producción + limpia, Vol.1 N° 2, pp.58-77, 2006.

[41] Malá J, Malý J. Wastewater from biodiesel production as a carbon source for denitrification of sludge liquor in SBR. Chem Biochem Eng Q, 2010.

[42] Tratamiento de aguas residuales, Rubens S. Ramalho. Ed Reverté S.A. Quebec, Canadá.

[43] Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy, INC. McGraw-Hill, 3ed. 1995.

[44] Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Juan Antonio Sainz Sastre. Madrid, 2007.

[45] Fluidos.eia.
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamiento/residuales/tratamiento/residuales.html>. Última consulta [14/01/2015].

[46] Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Antonio Rodríguez Fernández-Alba et al. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Madrid, 2006.

[47] Madrimasd.
<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>.
Última consulta [10/10/2014].

[48] Machulek et al. Application of different advanced oxidation processes for the degradation of organic pollutants. Organic pollutants – monitoring, risk and treatment; Rashed MN editor, InTech, 2013.

[49] Mejores técnicas disponibles de referencia europea. Sistemas de Gestión y tratamiento de aguas y gases residuales en el sector químico. Documento BREF. Serie prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Febrero 2003.



- [50] Revista EIA.
<http://revista.eia.edu.co/articulos18/Revista%20EIA%20N18%20%20art%209.pdf>. Última consulta [15/12/2014].
- [51] Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater by UASB Reactor Integrated with Chemical Oxidation Processes; an Overview. A. Yasar, A. Tabinda, 2009.
- [52] Globalmethane.
<https://www.globalmethane.org/documents/Seleccion-de-Tecnologias-para-el-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Municipales.pdf>. Última consulta [4/12/2014].
- [53] Universidad de las Américas Puebla. México.
http://catarina.udlap.mx/u_dla/tales/documentos/lic/hammekena_a_am/capitulo4.pdf. Última consulta [15/12/2014]
- [54] Handbook of Biological Wastewater Treatment: Design and Optimisation of wastewater treatment. Design and optimisation of activated sludge systems. A.C. van Haandel, JGM. Van del lubbe. 2nd edition. London, 2012.
- [55] INFORME DE INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS, Provincia HUELVA, Agencia Andaluza de la Energía. Conserjería de innovación economía ciencia y empleo. Junio 2014.
- [56] Los biocarburantes en Andalucía. Agencia andaluza de la energía. Conserjería de economía, innovación, ciencia y empleo. Marzo 2014.
- [57] Malá y Mal. Wastewater from biodiesel production as a carbon source for denitrification of sludge liquor in SBR. Chem Biochem Eng, 2010.
- [58] Daka Biodiesel, Greenaccounting 2007/2008 Daka biodiesel a.m.b.a. Daka Biodiesel, Løsning, 2009.
- [59] Meteohuelva. <http://www.meteohuelva.es/climatologia.html>.
Última consulta: [20/12/2014]
- [60] AEMET.
<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valores>



[climatologicos?l=4642E&k=and](#). Última consulta [20/12/2014]

[61] UPC.

<http://upcommons.upc.edu/fcbitstream2099.1128441C%C3%A0lculs.pdf> . Última consulta: [10/01/2015].

[62] UNAD.

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_12_tamices.html . Última visita [12/01/2015]

[63] Isla de Juana, Ricardo. Proyectos de plantas de tratamiento de aguas : Aguas de proceso, residuales y de refrigeración. Ed. Bellisco. Madrid. 2005.

[64] Toro equipment.

<http://www.toroequipment.com/ContentManager/Pdf/product/es/Tamiz%20Rotativo%20Defender%20Toro%20Equipment.pdf/> . Última consulta [12/01/2015]

[65] Admix. <http://www.admix.com/pdfs/admixer-tech102.pdf>. Última consulta [13/01/2015].

[66] PAUL, Edward. Handbook of Industrial Mixing. p.430.

Paul, Edward L. (2004). *Handbook of Industrial Mixing-Science and Practice*. Hoboken NJ: John Wiley & Sons. p 399 section 7-3.1.4.

[67] Kolmetz.

http://kolmetz.com/pdf/EDG/ENGINEERING_DESIGN_GUIDELINE_static_mixer_Rev02web.pdf. Última consulta [12/01/2015].

[68] SIDASA.

<http://www.construnario.com/ebooks/685/documentos%20t%C3%A9cnicos/sifloc%201082d.pdf>. Última consulta [20/01/2015]

[69]

VAXA

software.

http://www.vaxasoftware.com/doc_eduen/qui/viscoh2o.pdf.

Última

consulta [13/01/2015]

[70] Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, Susumu Kawamura, 2nd Edition, September 2000.

[71] UAM.

<http://www2.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/master/Documentos/Master%20T-7.pdf>. Última consulta [20/01/2014].

[72] The characterization of biodiesel wash water and the potential for microbial remediation. A. Lamers. University of Guelph, 2010.

[73] Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño, Rojas J., Editorial Escuela, Colombiana de Ingeniería, 2000, Bogotá.

[74] Treatment, Disposal and Reuse of Biodiesel Derived Waste Products. G. Austic (Piedmont Biofuels) and S. Lobdell (Chatham Environmental Consulting).

[75] CARM.

[http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=3978&IDTIPO=11&RASTRO=c740\\$m](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=3978&IDTIPO=11&RASTRO=c740$m) Normas de seguridad en trabajos de mantenimiento en estaciones depuradoras de aguas residuales. INTERSA. Dpto de coordinación de PRL.

[76] Estudio EDAR Guía de buenas prácticas preventivas en estaciones depuradoras de aguas residuales. Dirección de seguridad e higiene, ASEPEYO, 2009.

[77] Ismedioambiente.

<http://www.ismedioambiente.com/paginas/el-potencial-fertilizante-y-economico-de-los-lodos-de-depuradora-para-los-cultivos-agricolas>. Última visita [19/04/2015]

[78] OMIE. <http://www.omie.es/inicio> Última visita [21/4/2015]

[79] Milliarium. <http://www.miliarium.com/Marcos/Depuradoras.asp>. Última visita [5/03/2015]

[80] Slideshare. <http://es.slideshare.net/slawkosysak69/evaluacion-de-impactos-ambientales-cri>. Estudio de impacto ambiental definitivo para la construcción y operación de la subestación El Inga. Capítulo IX Identificación y evaluación de impactos ambientales. Greenleaf Ambiental Company Cia. Ltda. Servicios de consultoría general. Última visita [13/03/2015].



14. ANEXOS



Anexo I. DIAGRAMAS

Anexo II. SEGURIDAD

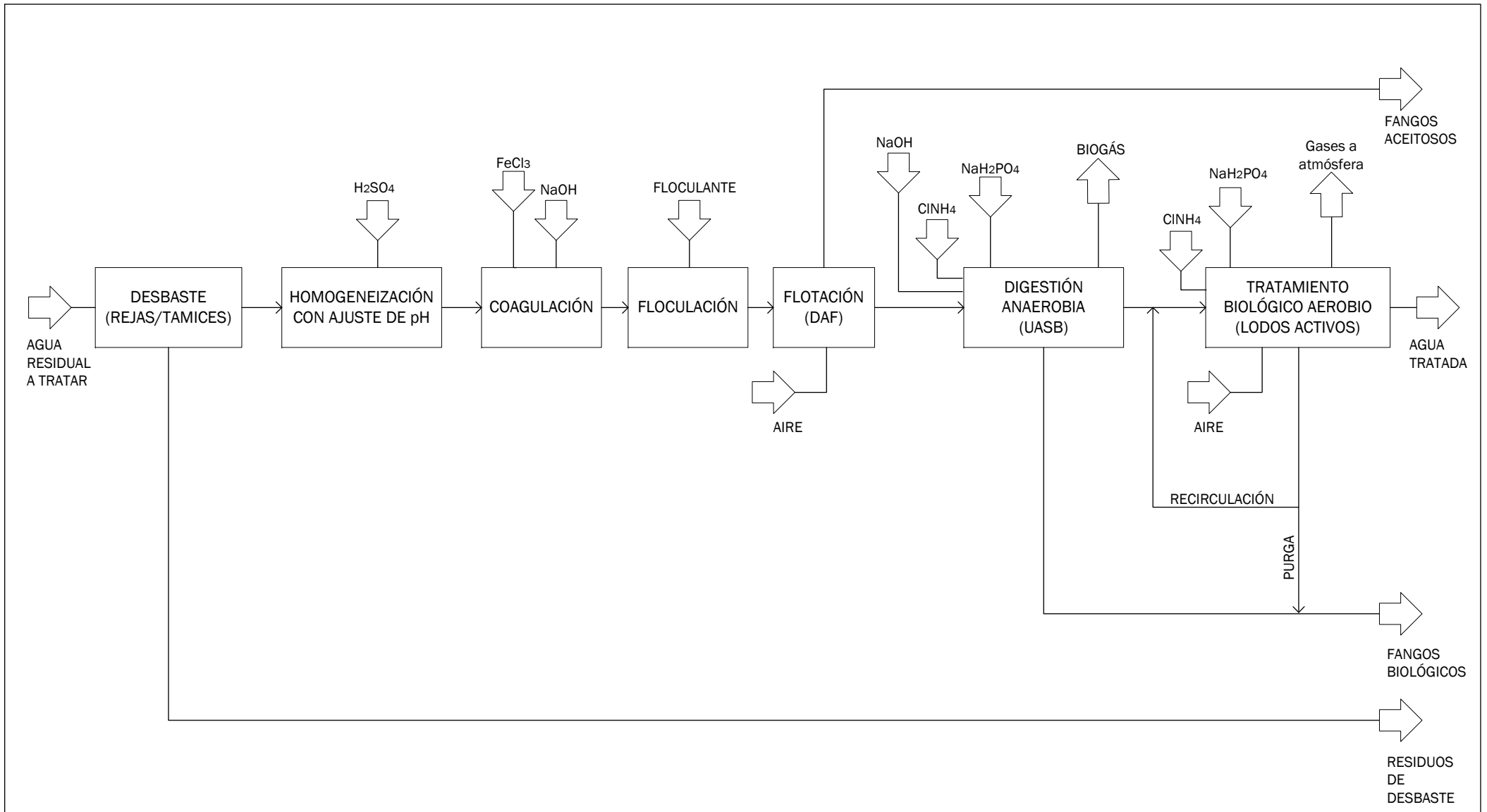
- Descripción de riesgos generales y medidas preventivas
- Fichas técnicas y de seguridad
- Frases R



ANEXO I. DIAGRAMAS



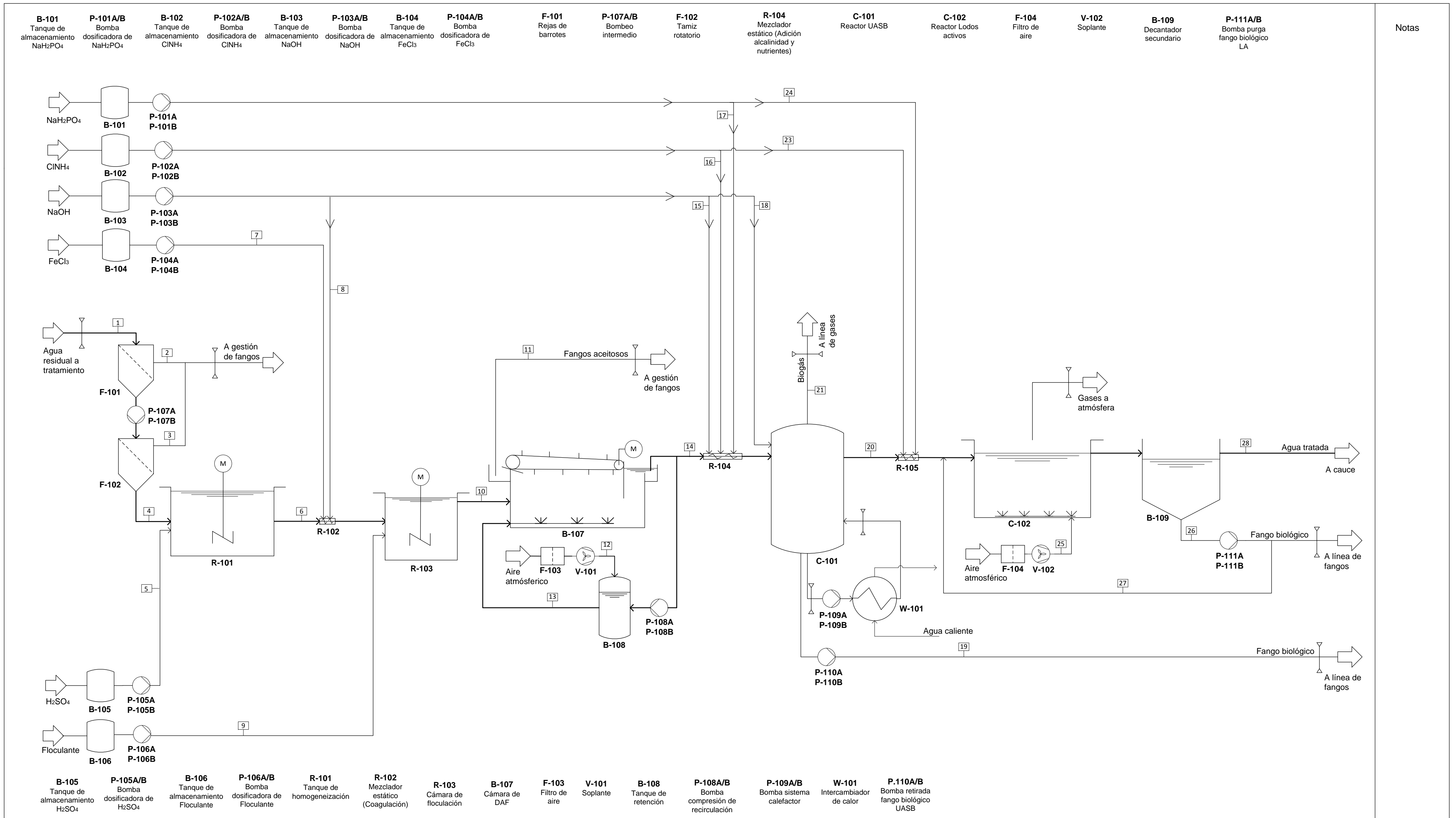
DIAGRAMA DE BLOQUES



Departamento responsable IQTMA	Referencia técnica -	Tipo de documento DIAGRAMA DE BLOQUES	Estado del documento Editado			
Propietario legal UVa	Creado por MARÍA ROJO CHOYA	Título PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DEL BIODIESEL				
	Aprobado por MÓNICA COCA, SUSANA LUCAS		Rev. A	Fecha de edición 30/10/2014	Idioma ES	Hoja 1/1



DIAGRAMA DE FLUJO



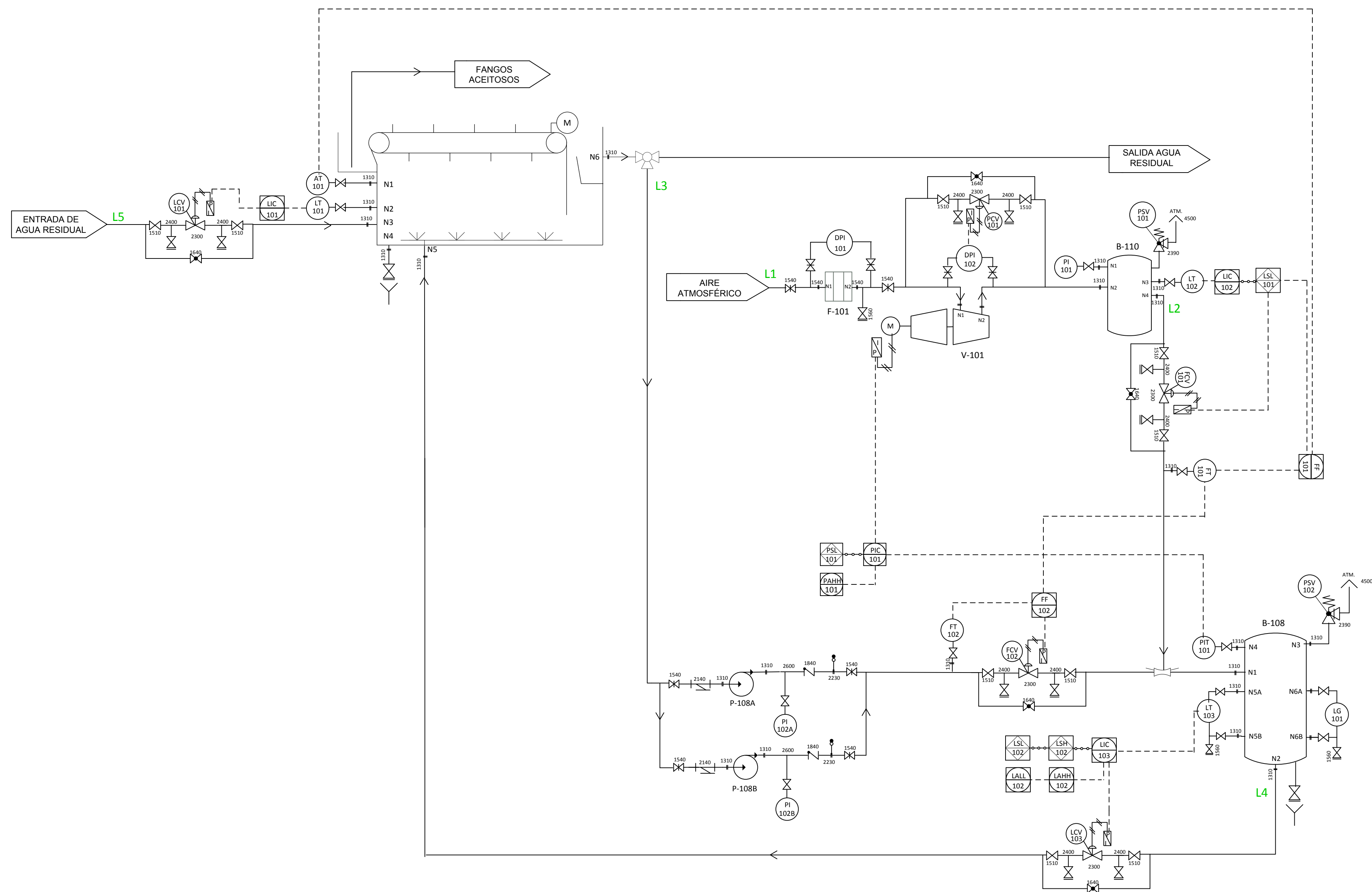
CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28	
P, atm	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
T, °C	18	X	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
pH	9,3	X	9,3	9,3	X	6,5	X	X	X	4	4	X	4	X	X	X	X	X	6,7	6,7	X	X	X	X	X	X	6,7	
Flujo másico (kg/h)	60000	X	454,5	59545,5	0,94	59546,4	14,9	8,3	4,4	59574	5387	10,9	133247	54187	0,2	106,1	6,8	86,7	678,5	53508	257,0	10,6	2,2	179925	24288	22367	51597	
Densidad (kg/m3)	1000	X	995	1000	1825	1000	1400	1520	1200	1000	995	1,2	1000	1000	1520	1375	1736	1520	1005	1000	1,22	1500	1920	1,22	1005	1005	1000	
Flujo volumétrico (m3/h)	60	X	0,46	59,5	0,52	59,5	0,011	0,005	0,004	59,6	5,4	9,10	133,25	54,19	0,14	0,08	0,004	0,06	0,68	53,5	210,7	0,007	0,0011	147479	24,2	22,3	51,6	
Concentración (mg/L)																												
DQO	27400	X	719815	22087		22087				22077	157892			8495					600000	1032								107,1
DBO	11500	X	302112	9270		9270				9266	56073			4584					338492	371,4								19,3
SST	1900	X	37436	1627		1627				1627	17539			35,8					717,6	27,2								22,5
Grasa y Aceite	4100	X	161564	2892		2892				2891	31486			31,8					510,1	25,7								22,7
Flujo másico (kg/h)																												
DQO	1644	X	328,8	1315,2		1315,2				1315,2	854,88			460,3					405,1	55,2								5,52
DBO	690	X	138	552,0		552				552	303,6			248,4					228,5	19,9								0,99
SST	114	X	17,1	96,9		96,9				96,9	94,962			1,9					0,5	1,5								1,16
Grasa y Aceite	246	X	73,8	172,2		172,2				172,2	170,478			1,7					0,3	1,4								1,17

Dpto. responsable	Referencia técnica	Tipo de documento	Estado del documento				
IQTMA	-	DIAGRAMA DE FLUJO	Editado				
Propietario legal	Creado por	Título		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL BODIESEL			
UVa	MARIA ROJO CHOYA						
	Aprobado por			Rev.	Fecha de edición	Idioma	Hoja
	MÓNICA COCA, SUSANA LUCAS			A	1/1/2015	ES	1/1

Notas



P&ID – SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (ANÁLISIS HAZOP)



Dpto. responsable	Referencia técnica	Tipo de documento	Estado del documento			
IQTMA	-	P&ID SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO	Editado			
Propietario legal	Creado por MARÍA ROJO CHOYA	Título				
UVa	Aprobado por MÓNICA COCA, SUSANA LUCAS	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL BIODIESEL	Rev. A	Fecha de edición 16/3/2015	Idioma ES	Hoja 1/1



ANEXO II. SEGURIDAD



Descripción de riesgos generales y medidas preventivas

A) Golpes y contactos con objetos cortantes o punzantes

Los factores que ocasionan comúnmente estos accidentes son el uso de herramientas inapropiadas a la tarea, la utilización inexperta o descuidada por parte del usuario, el mal estado de la herramienta o el incorrecto almacenamiento y/o transporte.

Medidas preventivas:

- Todas las cuchillas o filos cortantes irán provistos de moldura en su mango, de forma que se evite el deslizamiento de la mano hasta la hoja de corte. No se utilizarán herramientas con mangos astillados o rajados, ni aquellas con una unión defectuosa entre hoja de corte y mango.
- El transporte de herramientas u otros objetos cortantes o punzantes se realizará en estuches o fundas de protección.
- La limpieza de cuchillas y filos cortantes se realizará siempre apoyando el filo sobre una superficie plana, actuando primero sobre una cara y después sobre la otra. Nunca se limpiará directamente el filo de la herramienta.
- El personal expuesto utilizará guantes o manoplas para proteger sus manos, así como ropa de trabajo adecuada para evitar cortes en el cuerpo.

B) Golpes choques y atrapamientos por objetos en movimiento

Los trabajos desarrollados con maquinaria que posee elementos móviles conllevan riesgos de golpes, choques y atrapamientos entre las partes fijas y móviles de la máquina, muchas veces por la necesidad de realizar ajustes, o simplemente durante su uso.

Medidas preventivas

- Los equipos se mantendrán en buen estado de conservación y se utilizarán tal y como esté previsto por el fabricante. Siempre dispondrán de sus correspondientes dispositivos de protección.
- Los operarios sólo podrán interactuar con aquellas máquinas o equipos para los que se encuentren autorizados, no retirando nunca los dispositivos o resguardos de protección con los que vienen equipados.
- Los dispositivos de parada de emergencia deberán provocar la detención inmediata del movimiento peligroso correspondiente y deberán ser fácilmente accesibles por el trabajador en peligro.

- Los mandos de equipos y máquinas estarán dispuestos de forma que el operario pueda distinguirlos y alcanzarlos fácilmente, sin que su manipulación entrañe ningún peligro.
- Al objeto de evitar el acceso con las manos a zonas peligrosas de los equipos para empujar, introducir o retirar piezas y en la eliminación de residuos, se utilizarán elementos auxiliares específicos previstos para ello, como pinzas o ganchos que garanticen una distancia de seguridad suficiente.
- Las máquinas no serán manipuladas en funcionamiento. Antes de realizar cualquier operación de reparación o mantenimiento (limpieza, engrases etc.) se procederá a la desconexión de la máquina de la corriente, asegurando que no existe posibilidad de que entre en funcionamiento accidentalmente.
- Antes de comenzar a trabajar con una máquina es preciso asegurarse de que las protecciones están en su lugar y los dispositivos de emergencia funcionan correctamente. Los trabajadores deberán ser instruidos en la realización de las inspecciones que les correspondan y en la forma de actuar cuando encuentren deficiencias.

C) Golpes y atropellos causados por vehículos

La circulación de vehículos en los espacios de trabajo puede producir golpes o atropellos, por lo que es necesario tener presentes las medidas preventivas que se adoptarán en lo referente a la circulación simultánea de vehículos (coches, carretillas elevadoras, dúmpers...) y peatones por la planta.

Medidas preventivas

- Deberá realizarse la señalización de las vías de paso, para evitar que vehículos y peatones circulen por el mismo lugar.
- Para entrar y salir de la planta el peatón utilizará siempre las puertas de acceso peatonales.
- Los conductores de carretillas deberán:
 - Circular únicamente por los pasillos establecidos, que han de encontrarse debidamente señalizados, siempre a velocidad moderada.
 - Prohibir comportamientos imprudentes durante el manejo del vehículo.
 - Comprobar diariamente el estado y correcto funcionamiento de los elementos de seguridad de la carretilla (dirección, bocina,

freno de inmovilización y servicio, horquilla, sistema de elevación e inclinación, fugas de aceite, neumáticos etc.), y notificar cualquier anomalía observada.

- Durante las pausas o paradas con ausencia del conductor, la carretilla deberá quedar aparcada de forma que no suponga ningún obstáculo, con el motor parado y la llave retirada, la horquilla baja (apoyada en el suelo), los mandos en punto muerto y el freno de inmovilización puesto.
- Los trabajadores que vayan a desarrollar entre sus funciones las de conducción de carretillas, dúmpers u otros, recibirán la formación adecuada en lo referente.
- Tanto peatones como vehículos deberán respetar la señalización de seguridad en lo referente a la circulación (¡Precaución!, Circulación de vehículos, Pasillo para peatones etc.)

D) Golpes producidos por caídas al mismo nivel

Factores que comunmente provocan este tipo de accidentes son tropiezos (por obstáculos en las vías de paso, mal estado del pavimento) o resbalones, (derrames de grasas u otros productos) que fácilmente pueden ser evitados tomando las medidas preventivas adecuadas.

Medidas preventivas

- Las vías de circulación de los lugares de trabajo tanto las situadas en el exterior de los edificios como en el interior de los mismos incluidas las puertas pasillos escaleras rampas y muelles de carga, deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad para las personas que circulen por ellas, evitando todo tipo de irregularidades (bordes de moquetas pronunciados, baldosas sueltas, etc.).
- Los puestos de trabajo se mantendrán limpios y ordenados. Los envases se mantendrán convenientemente cerrados y en sus recipientes originales, evitando derrames y vertidos (aceite, grasa, agua...). Si se produjeran, se retirarán y se limpiará la zona de forma adecuada de inmediato. Las cajas se almacenarán sobre estantes o paletas, protegidas de la humedad, evitando derrumbes.
- La señalización de desniveles u obstáculos que originen riesgos de caída o choque se realizará por pintado del suelo u obstáculo con rayas amarillas y negras oblicuas a 45°.
- Las salidas de emergencia, pasillos de circulación, puertas y escaleras

deben mantenerse convenientemente señalizados e iluminados, además de despejados de materiales (cajas, productos, máquinas...) que obstruyan estas vías y dificulten su uso en caso de emergencia.

- Se utilizará calzado de seguridad con características antideslizantes, y siempre que exista la necesidad se procederá a la colocación de suelo antideslizante.

E) Golpes producidos por caídas a distinta altura

El origen de este tipo de accidentes se encuentra en las mismas causas que provocan las caídas al mismo nivel (tropiezos, resbalones), además de posibles mareos o vértigos, mal estado de las protecciones colectivas (barandillas y otros) o el uso inadecuado de las protecciones para trabajos en altura (arneses, EPI's).

Medidas preventivas

- Se consideran de utilidad todas las medidas indicadas para caídas al mismo nivel, relativas al orden limpieza y señalización, ya que suponen medidas de prevención frente a tropiezos, resbalones o pérdidas de equilibrio en altura.
- En todos los trabajos que impliquen el posicionamiento, tránsito o estancia en altura (>2 m), será preceptiva la instalación de una protección colectiva eficaz que garantice la eliminación del riesgo de caída desde altura, entendiéndose como tal la instalación de barandillas rígidas, fijas y reglamentarias de protección en el perímetro de las estructuras como balsas, tanques, decantadores y en plataformas de trabajo.
- El uso de arnés de seguridad anclado a un punto fijo y seguro será necesario en los lugares carentes de protección perimetral.

F) Golpes por objetos proyectados

El riesgo de proyección de partículas o productos químicos se puede producir en diversas zonas de la instalación de tratamiento de aguas (por rotura en elementos de máquinas o equipos, con proyección de virutas o salpicaduras de líquidos), pudiéndose evitar en la mayoría de los casos si se dota a las instalaciones de resguardos de seguridad y si se utilizan los equipos de protección individual adecuados.

Medidas preventivas

- Se dotará siempre que sea posible a los resguardos de protección de interruptores que impidan la puesta en marcha de la máquina cuando las protecciones no estén colocadas correctamente.

- Se extremarán las medidas de seguridad en la manipulación de productos químicos protegiéndose con gafas o pantallas específicas los posibles riesgos de proyección de sustancias u objetos que puedan tener lugar.

G) Contactos eléctricos

Las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico están reguladas por el RD 614/2001. Del estado de conservación en que se encuentren las instalaciones eléctricas y de su adecuada utilización, depende la seguridad de los trabajadores en sus distintos puestos de trabajo. Entre los riesgos más comunes en lo referente, se encuentran las posibles quemaduras, propagación de incendios o electrocución.

Medidas preventivas

- Ningún operario no cualificado deberá manipular el interior de un cuadro eléctrico.
- Los mantenimientos realizados en el interior de las instalaciones eléctricas se realizarán siempre por personal cualificado, estando siempre presente un segundo trabajador para auxiliar al primero en caso de accidente.
- Se evitará sobrecargar las tomas de corriente conectando varios en una misma toma. Las carcasas de los equipos se conectarán a una toma de tierra.
- En caso de avería o anomalía en una máquina se cortará la corriente como primera medida de seguridad. En ningún caso utilizar la máquina averiada hasta después de su reparación.
- Los cuadros eléctricos también poseen riesgo de incendio, por lo que será obligatorio la instalación de extintores adecuados al tipo de fuego previsible, junto a cada punto potencialmente peligroso, cuidando en todo momento su puesta a punto y realizando las revisiones oportunas.
- En los puestos de trabajo (y sus proximidades) en que puedan producirse atmósferas inflamables la instalación eléctrica y equipos utilizados (tendido, luminarias y máquinas eléctricas) deberán ser conformes con las prescripciones particulares para las instalaciones de locales con riesgo de incendio o explosión indicadas en la reglamentación electrtécnica.

H) Exposición a ruido y vibraciones

El ruido estará asociado a las instalaciones de: sala de compresores (suministran aire para la flotación y el reactor biológico aerobio), sala de calderas (suministran agua al sistema de intercambio de calor que permite mantener los reactores anaerobios a la temperatura adecuada) y los compresores de aire de servicio.

Medidas preventivas

De acuerdo con el RD 286/2006 relativo a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente al ruido, las actuaciones a realizar son:

- Se evaluarán los niveles de exposición diarios indentificando la posible exposición de los trabajadores a niveles superiores a 80 dB. Se controlarán los niveles de ruido superiores puesto que además de provocar a los trabajadores expuestos problemas físicos de oído, inhiben la comunicación hablada, enmascaran señales de advertencia acústica e incrementan la tasa de errores en las funciones desempeñadas.
- Se confinarán los compresores en espacios aislados y se evitarán los escapes de aire a presión mediante el uso de silenciadores.
- Se llevará a cabo el tratamiento acústico de paredes y techos utilizando material absorbente en los lugares señalados como principales fuentes de ruido: sala de compresores, sala de calderas.
- Las zonas en las que los niveles diarios de exposición a ruido superen los 85 dB serán debidamente señalizadas advirtiendo del riesgo existente.
- Será obligatorio el uso de los EPI's auditivos en los puestos que superen los 85 dB (tapones, cascos, orejeras).

I) Contactos con productos o entornos a temperaturas extremas

Existirá riesgo de exposición a temperaturas extremas tanto en trabajos al aire libre en condiciones climáticas adversas por frío o calor, como en trabajos en recintos cerrados en los que se alcancen temperaturas elevadas.

Medidas preventivas

- Para trabajos al aire libre con exposición a altas temperaturas se pondrá a disposición del trabajador gorras o parasoles para evitar el contacto directo con el sol por largos períodos de tiempo, así como ropa de trabajo adecuada, de tejido transpirable y color claro.

- En el caso de recintos cerrados que alcancen temperaturas elevadas como la sala de calderas, se instalarán equipos de climatización o ventilación forzada que matengan las condiciones de temperatura y humedad en los límites establecidos en el RD 486/1997 cuando existan puestos permanentes. Si no fuera posible, se permanecerá en estos espacios sólo el tiempo necesario para realizar las tareas encomendadas, realizando descansos en ambientes más frescos.
- Deberán protegerse mediante alejamiento o aislamiento todos los puntos a alta temperatura susceptibles de ser tocados por el personal. Cuando no sea posible la colocación de cubiertas aislantes del calor se señalará adecuadamente el peligro.
- Frente a exposición a bajas temperaturas, se proporcionará ropa de trabajo adecuada, cuyo aislamiento térmico sea suficiente para contrarrestar el frío exterior de acuerdo con lo establecido en la norma UNE ENV ISO 11079. Se deberá cambiar la ropa en el momento en que se moje o humedezca, y se limitará el tiempo de permanencia en ambientes fríos.

J) Sobreesfuerzos físicos

Frecuentemente debidos a posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación manual de cargas.

Medidas preventivas

- Se identificarán y evaluarán ergonómicamente los factores de riesgo en la manipulación de cargas, el uso de herramientas o en las tareas que exijan posturas forzadas o movimientos repetitivos.
- Los trabajadores recibirán formación e información sobre los riesgos de sobreesfuerzo en su puesto de trabajo como base de la participación activa de todos los implicados en su prevención.
- Se automatizarán las tareas que requieran de mayor esfuerzo físico y con mayor tendencia a los movimientos repetitivos.

K) Exposición a condiciones ergonómicas de iluminación

Una iluminación deficiente no sólo puede provocar la aparición de fatiga visual, problemas en los ojos (sequedad, picor o escozor), dolor de cabeza, cansancio y otros, también se aumenta la posibilidad de que los trabajadores cometan errores y de que se produzcan accidentes.

Medidas preventivas

- Se dotará a los diferentes lugares de la instalación con los niveles adecuados de iluminación, siempre cumpliendo con los mínimos que se establecen en el RD 486/1997 sobre lugares de trabajo.

- Se llevará a cabo un correcto mantenimiento de las lámparas y luminarias reponiendo inmediatamente las lámparas fundidas. Para evitar que la suciedad disminuya la aportación de flujo luminoso se realizarán limpiezas periódicas.
- En el caso de zonas ATEX, las luminarias o portátiles serán obligatoriamente antideflagantes y aptas para trabajar en atmósferas explosivas.
- Se limitarán las programaciones de tareas de mantenimiento a realizar por la noche, favoreciendo que se realicen durante el día.

L) Exposición a agentes biológicos

El riesgo de exposición a agentes biológicos tiene su origen en los agentes patógenos presentes en las aguas residuales. Este riesgo es probable sobretodo en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, por la presencia de heces y otros residuos de tipo biológico en el agua. En aguas de tipo industrial el riesgo de tipo biológico no es probable, por lo que se consideran a grandes rasgos como medidas preventivas más eficaces las de tipo higiénico y el correcto uso de las protecciones individuales.

Medidas preventivas:

- Se prohibirá a los trabajadores comer, beber o fumar en las zonas de trabajo en que exista dicho riesgo, siendo indispensables los cuidados de higiene personal tras los trabajos (lavado de manos y uñas, ducha).
- Se proveerá a los trabajadores de las prendas de protección adecuadas.
- Se dispondrá en las instalaciones de retretes y cuartos de aseo adecuados para los trabajadores, que dispongan de productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel.

M) Exposición a agentes químicos, incendios y explosiones

En la línea de tratamiento de aguas, se utilizan sustancias y preparados químicos peligrosos. Además en algunos procesos pueden generarse gases que de no ser controlados y manipulados de forma apropiada pueden causar efectos adversos para la salud de los trabajadores, o ser causa de incendio o explosión.

Por la importancia de los daños que comporta este tipo de riesgos, se detallan en el apartado 8.3. Riesgos de especial mención y medidas preventivas.



Fichas técnicas y de seguridad

ÁCIDO SULFÚRICO

ICSC: 0362

Febrero 2000

CAS: 7664-93-9 Ácido sulfúrico 100%
 RTECS: WS5600000 Aceite de vitriolo
 NU: 1830 H₂SO₄
 CE Índice Anexo I: 016-020-00-8 Masa molecular: 98.1
 CE / EINECS: 231-639-5



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Consultar a un experto. ¡Evacuar la zona de peligro! NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1830 o 80GC1-II+III Código NFPA: H3; F0; R2; W	Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.

IPCS
 International
 Programme on
 Chemical Safety

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



ÁCIDO SULFÚRICO

ICSC: 0362

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro.

PELIGROS QUÍMICOS

La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV: 0.2 mg/m³, Fracción torácica, A2 (sospechoso de ser cancerígeno humano); (ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2005).
MAK: (Fracción inhalable) 0.1 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.

EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).

EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición (se descompone): 340°C
Punto de fusión: 10°C
Densidad relativa (agua = 1): 1.8
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS

Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2014):

VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m³

Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

COLORURO FÉRRICO (ANHIDRO)		ICSC: 1499
		Abril 2004
Cloruro de hierro Tricloruro de hierro Cloruro de hierro (III)		
CAS:	7705-08-0	FeCl₃
RTECS:	LJ9100000	Masa molecular: 162,2
NU:	1773	
CE / EINECS:	231-729-4	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. Diarrea. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1773.	Separado de bases fuertes y materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Mantener en lugar seco. Bien cerrado.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2004

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLORURO FÉRRICO (ANHIDRO)

ICSC: 1499

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Cristales higroscópicos negros a marrones.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, a más de 200 °C produciendo gases tóxicos y corrosivos, incluyendo cloro y cloruro de hidrógeno.

La sustancia se descompone en contacto con agua produciendo cloruro de hidrógeno. La disolución en agua es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con metales alcalinos, cloruro de alilo, óxido de etileno, estireno y bases, originando peligro de explosión. Ataca al metal, formando gas combustible (hidrógeno-ver FISQ:0001).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: (sales de hierro solubles, como Fe) 1 mg/m³; (ACGIH 2004).

MAK no establecido.

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de fusión: 37 °C (ver Notas)

Densidad: 2,9 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 92 reacciona

Presión de vapor, Pa a 20 °C: despreciable

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS

UN 1773 corresponde a la forma anhidro; UN 2582 corresponde a la disolución. Se indica el punto de fusión aparente originado por pérdida del agua de cristalización. Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80GC1-II+III, corresponde a la disolución. Nombres comunes: Flores martis y molisita.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2010):

VLA-ED: (sales de hierro solubles, como Fe) 1 mg/m³

Notas: Los términos "soluble" e "insoluble" se entienden con referencia al agua.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

INFORMACION TECNICA



SIDASA



UNITS COATING GROUP

SIFLOC 1080 D

Productos para el tratamiento de aguas residuales y la deshidratación de lodos

El **SIFLOC 1080 D** es un copolímero catiónico de acrilamida de alto peso molecular en emulsión acuosa. Debe ser disuelto en agua previamente a su utilización.

PROPIEDADES

● Forma física	líquido opaco
● Color	Blanco lechoso
● Densidad	1,2 g/cm ³ aprox.
● pH	3.0 – 4.1
● Carácter iónico	Catiónico alto
● Viscosidad del producto puro (25 °C)	< 600 cp
● Temperatura congelación	- 10 °C
● Recuperación a la congelación	Buena
● Viscosidad	3 % 2 % 1 %
Disoluciones	145 75 30

BENEFICIOS

- Mejora el drenaje en los procesos de deshidratación de fangos, tanto en filtros de banda como en centrífugas
- Puede operar en un amplio rango de pH
- Funciona solo o en combinación con otros productos para el tratamiento de aguas y/o lodos (sulfato de alúmina, policloruro de alúmina, hierro, etc)
- Gran facilidad en la prelación y manipulación del producto.
- Es especialmente útil en tratamientos de efluentes donde la separación debe realizarse por flotación.

PRINCIPALES APLICACIONES

- En flotadores o Kroftas de cualquier tipo. La naturaleza del polímero lo hace especialmente útil para este tipo de separaciones. Funciona aún a pH muy ácidos, empleados en ocasiones para desestabilizar algunas emulsiones de grasas.
 - En centrífugas para la deshidratación de lodos. Funciona muy bien desde pH ácidos (2-3) hasta básicos (9-9.5).
 - En filtros de banda para la deshidratación de lodos. Mejora el drenaje y mantiene limpia la tela, especialmente en casos de fangos con un elevado contenido de hidrocarburos o compuestos hidrófobos.
 - En tratamiento de lodos procedentes de digestiones deficientes o con un alto contenido en volátiles.
 - Para el tratamiento de aguas y lodos derivados de efluentes procedentes de la manipulación de petróleos e hidrocarburos.
 - En tratamientos de aguas residuales donde se precisa un floculante catiónico. También se utiliza en ocasiones para efectuar un "tratamiento dual". En estos casos suele añadirse a continuación de la etapa de coagulación, mejorando ésta y produciendo una floculación incompleta. Cuando se añade posteriormente el polielectrolito aniónico, se obtiene un flóculo de mayor tamaño y consistencia que el que se conseguiría utilizando exclusivamente el floculante aniónico.
-

MANIPULACION, ALMACENAMIENTO Y ESTABILIDAD DEL PRODUCTO

- ✚ Tomar las precauciones habituales cuando se maneja cualquier sustancia química. Evitar el contacto con los ojos, piel o ropa. Aunque no desprende vapores tóxicos se recomienda utilizar en lugares convenientemente ventilados. Para más información ver la Hoja de Datos de Seguridad del producto.
- ✚ Mantener el recipiente que contiene el producto cerrado para evitar contaminaciones externas. No debe caer agua sobre el producto, ya que causaría la formación de geles y el espesamiento del mismo.
- ✚ El producto se considera válido para su aplicación hasta 6 meses después de su fabricación, aunque se recomienda consumirlo durante los 3 ó 4 primeros meses. A pesar de esto, tiempos mayores de almacenamiento no implican la invalidez del producto. Las condiciones de almacenamiento son importantes; se recomienda hacerlo en lugar cubierto y a temperatura fresca y constante. Evitar temperaturas extremas (-5 °C, 40 °C).
- ✚ En caso de períodos largos en reposo el producto puede presentar en su superficie algunos geles o grumos. Esto es consecuencia de los procesos de evaporación-condensación que tiene lugar dentro del recipiente. Esto no significa que el producto se encuentre en mal estado (incluso la propia capa de gel puede aprovecharse, puesto que es soluble en agua), pero la elevada viscosidad de estos geles parcialmente disueltos pueden obturar los conductos en caso de utilizar dosificadores automáticos.
- ✚ También en casos de periodos prolongados de reposo el producto puede presentar una ligera deposición que se recupera fácilmente mediante agitación. Esto no implica ningún deterioro del producto.
- ✚ Su exposición prolongada a temperaturas constantes inferiores a 0 °C, puede causar alguna precipitación no recuperable. No obstante el producto puede seguir utilizándose si no hay problemas de bombas y/o conductos.

PREPARACION Y DOSIFICACION

- ✚ El producto debe disolverse en agua previamente a su utilización. La disolución se produce rápidamente si las condiciones son adecuadas. En casos de empleo de unidades-Sidasa de dosificación, un tiempo de 3 a 5 minutos se muestra suficiente. No obstante, para el resto de equipos, se recomienda un tiempo mínimo de 20 minutos de agitación.
 - ✚ Es importante para una rápida y adecuada disolución del producto conseguir un contacto efectivo de éste con el agua desde el primer instante. Por ello, si se vierte el producto sobre un volumen de agua en agitación debe hacerse en forma de fino chorro sobre el vórtice. La agitación durante el tiempo de vertido debe ser vigorosa; después puede reducirse para completar la disolución.
-

-
- ✚ La baja viscosidad del producto permite controlar la dosificación de éste mediante la bomba que alimenta a la unidad-Sidasa de dosificación. En esta situación es importante evitar la entrada de agua en el circuito del producto, por ello se recomienda la instalación de válvulas antiretorno. Si sucediera esto podrían formarse geles que taponarían las conducciones o la propia bomba dosificadora.
 - ✚ Se recomienda no preparar disoluciones de concentración superior al 5%.
 - ✚ La estabilidad de la disolución del producto depende de diversos factores (calidad del agua utilizada, pH, temperatura, concentración, etc). como norma se recomienda preparar la disolución y consumirla en las horas siguientes. Una pérdida de viscosidad de la disolución indica que ésta se degrada y pierde características. En esta situación la disolución todavía es útil, aunque ahora deberá sobre dosificarse para conseguir el efecto deseado.

TRANSPORTE Y ENVASADO

El **SIFLOC 1080 D** se suministra en bombonas de plástico de 30 ó 70 kg, bidones de plástico de 240 kg y en contenedores de plástico de 1150 kg.

SG/250610

Todos los detalles y recomendaciones vienen precedidos de una larga experiencia industrial, pero aún así, no nos permiten garantizar resultados sin una previa adaptación a las condiciones existentes en los diferentes casos, ni en cualquier circunstancia que esté fuera de nuestro directo control o de las estipulaciones especiales dadas por el servicio técnico. Los datos indicados, propiedad de SIDASA, o de sus licenciatarios, están limitados en su uso por las personas o firmas ligadas por contrato y por ello, queda prohibida expresamente su reproducción y comunicación total o parcial, a terceros que escapen al alcance de protección del Registro de la Propiedad Industrial, sobre diseños, marcas, patentes y modelos.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIHIDRÓGENO FOSFATO DE POTASIO	ICSC: 1608
Octubre 2005	

Fosfato potásico, monobásico
Ácido fosfórico, sal monopotásica

CAS:	7778-77-0	KH₂PO₄
RTECS:	TC6615500	Masa molecular: 136,1
CE / EINECS:	231-913-4	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos.	Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. Diarrea. Náuseas.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
	Separado de bases fuertes.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIHIDRÓGENO FOSFATO DE POTASIO

ICSC: 1608

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Cristales incoloros o polvo cristalino blanco.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo gases tóxicos. La disolución en agua es un ácido débil.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV no establecido.

MAK no establecido.

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente en estado pulverulento.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de fusión: 253 °C

Densidad: 2,34 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml: 22

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

INFORMACIÓN ADICIONAL

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLORURO DE AMONIO

ICSC: 1051




CLORURO DE AMONIO

Cloruro amónico
Sal de amoníaco
NH₄Cl

Masa molecular: 53.5

Nº CAS 12125-02-9
Nº RTECS BP4550000
Nº ICSC 1051
Nº CE 017-014-00-8

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION	Tos.	Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Náuseas, dolor de garganta, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, guardar reposo y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).	Separado de nitrato amónico, clorato potásico, ácidos, álcalis, sales de plata. Mantener en lugar seco.	símbolo Xn R: 22-36 S: (2-)22 CE: 

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 1051

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

CLORURO DE AMONIO

ICSC: 1051

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Sólido entre incoloro y blanco, inodoro, higroscópico en diversas formas.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos e irritantes de óxidos de nitrógeno, amoníaco y cloruro de hidrógeno. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona violentamente con nitrato amónico y clorato potásico, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con concentrados de ácidos para formar cloruro de hidrógeno y bases fuertes para formar amoníaco. Reacciona con sales de plata para formar compuestos sensibles al choque. Ataca al cobre y compuestos.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 10 mg/m³ (humos) (ACGIH 1995-1996). TLV (como STEL): 20 mg/m³ (humos) (ACGIH 1995-1996). MAK no establecido.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del polvo o humo y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de sublimación: 350°C Densidad relativa (agua = 1): 1.5 Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 28</p>	<p>Solubilidad en agua: Elevada (28.3 g/100 ml at 25°C) Presión de vapor, kPa a 160°C: 0.13</p>
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Código NFPA: H 1; F 0; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 4-063 CLORURO DE AMONIO		
ICSC: 1051	© CCE, IPCS, 1994	CLORURO DE AMONIO
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	



Frases R de seguridad

Contenido de los Anexos III y IV del R.D. 363/1995.

- **Frases R**

Frases R simples

- R1 Explosivo en estado seco.
- R2 Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R3 Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R4 Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.
- R5 Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- R6 Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.
- R7 Puede provocar incendios.
- R8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- R9 Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.
- R10 Inflamable.
- R11 Fácilmente inflamable.
- R12 Extremadamente inflamable.
- R14 Reacciona violentamente con el agua.
- R15 Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.
- R16 Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.
- R17 Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- R18 Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables.
- R19 Puede formar peróxidos explosivos.
- R20 Nocivo por inhalación.
- R21 Nocivo en contacto con la piel.
- R22 Nocivo por ingestión.
- R23 Tóxico por inhalación.
- R24 Tóxico en contacto con la piel.
- R25 Tóxico por ingestión.
- R26 Muy tóxico por inhalación.
- R27 Muy tóxico en contacto con la piel.
- R28 Muy tóxico por ingestión.
- R29 En contacto con agua libera gases tóxicos.
- R30 Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- R31 En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- R32 En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.

- R33 Peligro de efectos acumulativos.
- R34 Provoca quemaduras.
- R35 Provoca quemaduras graves.
- R36 Irrita los ojos.
- R37 Irrita las vías respiratorias.
- R38 Irrita la piel.
- R39 Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- R40 Posibles efectos cancerígenos
- R41 Riesgo de lesiones oculares graves.
- R42 Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- R44 Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- R45 Puede causar cáncer.
- R46 Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- R48 Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R49 Puede causar cáncer por inhalación.
- R50 Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- R51 Tóxico para los organismos acuáticos.
- R52 Nocivo para los organismos acuáticos.
- R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R54 Tóxico para la flora.
- R55 Tóxico para la fauna.
- R56 Tóxico para los organismos del suelo.
- R57 Tóxico para las abejas.
- R58 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- R59 Peligroso para la capa de ozono.
- R60 Puede perjudicar la fertilidad.
- R61 Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R62 Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- R63 Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R64 Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- R65 Nocivo. Si se ingiere puede causar daño pulmonar
- R66 La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel
- R67 La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo
- R68 Posibilidad de efectos irreversibles

Combinación de frases R

- R14/15 Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables.
- R15/29 En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables.
- 20/21 Nocivo por inhalación y en contacto con la piel.
- 20/22 Nocivo por inhalación y por ingestión.
- 20/21/22 Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 21/22 Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.
- 23/24 Tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- 23/25 Tóxico por inhalación y por ingestión.
- 23/24/25 Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 24/25 Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- 26/27 Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- 26/28 Muy tóxico por inhalación y por ingestión.
- 26/27/28 Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- 27/28 Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- 36/37 Irrita los ojos y las vías respiratorias.
- 36/38 Irrita los ojos y la piel.
- 36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- 37/38 Irrita las vías respiratorias y la piel.
- 39/23 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- 39/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- 39/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- 39/23/24 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- 39/23/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- 39/24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- 39/23//24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- 39/26 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por

inhalación.

- 39/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- 39/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- 39/26/27 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- 39/26/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- 39/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- 39/26/27/28 Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- 42/43 Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.
- 48/20 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- 48/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- 48/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- 48/20/21 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- 48/20/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- 48/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- 48/20/21/22 Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R48/23 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- R48/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R48/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- R48/23/24 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- R48/23/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.

- R48/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- R48/23/24/25 Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R50/53 Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R52/53 Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R68/20 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación.
- R68/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel.
- R68/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión.
- R68/20/21 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel.
- R68/20/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión.
- R68/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel e ingestión.
- R68/20/21/22 Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión.