



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Química**

# **Estación depuradora de aguas residuales en una fábrica de levaduras**

**Autor:**

**Castell Ros-Zanet, Carles Gabriel**

**Tutor:**

**Rodríguez García, Félix Joaquín  
Departamento de Química Analítica**

**Valladolid, Abril 2016**



# Índice

1. Resumen .....	5
2. Introducción .....	7
2.1. <i>Status questionis</i> .....	7
2.2. Objetivos y alcance .....	8
2.3. Metodología y fuentes .....	9
3. La industria de la levadura .....	11
3.1. La levadura .....	11
3.1.1. Estructura de las levaduras .....	11
3.1.2. Composición de las levaduras .....	12
3.1.3. Clasificación de las levaduras.....	13
3.1.4. Nutrientes de las levaduras .....	13
3.2. Materias primas.....	14
3.3. Proceso de producción de levadura .....	15
3.4. Tipos de levadura comercial .....	17
4. La EDARI (Estación Depuradora de Aguas Residuales Industriales) .....	19

4.1. Introducción .....	19
4.2. Parámetros de medición de la contaminación de aguas residuales.....	20
4.2.1. Parámetros físicos .....	20
4.2.2. Parámetros químicos y biológicos .....	20
4.3. Estructura general de una EDAR .....	22
4.3.1. Pretratamiento .....	23
4.1.4. Tratamiento primario .....	35
4.1.4. Tratamiento secundario .....	39
4.1.5. Tratamiento de fangos .....	47
5. Diseño de una depuradora de aguas residuales de una fábrica de levaduras.....	53
5.1. Caracterización de las aguas .....	53
5.2. Bases de diseño .....	56
5.2.1. Capacidad .....	56
5.2.2. Límites de vertido (VLE).....	57
5.2.3. Régimen de funcionamiento .....	58
5.2.4. Clima .....	59
5.3. Selección de alternativas .....	60
5.3.1. Pretratamiento .....	60
5.3.2. Tratamiento primario .....	61
5.3.3. Tratamiento secundario .....	62
5.3.4. Tratamiento de fangos .....	65
5.4. Balances .....	66
5.4.1. Balance de materia .....	66
5.4.2. Balance de energía .....	68
5.5. Ingeniería de diseño .....	69
5.5.1. Diagrama de bloques .....	69
5.5.2. Diagrama de proceso.....	69
5.5.3. Descripción del proceso.....	69
5.5.4. Diagrama P&I.....	72
5.6. Diseño de equipos.....	73
5.6.1. Diseño de tuberías .....	73
5.6.2. Tanque de homogeneización (V-101) .....	73
5.6.3. Bomba centrífuga (P-105 A/B).....	77

5.6.4. Intercambiador de calor de carcasa y tubos (C-106) .....	81
5.6.5. Reactor anaerobio UASB (R-107) .....	90
5.6.6. Mezclador estático (M-108) .....	93
5.6.7. Reactor aerobio de mezcla completa (R-109).....	94
5.6.8. Bomba centrífuga (P-113).....	96
5.6.9. Decantador final (D-114) .....	98
5.6.10. Filtro de bandas para el tratamiento de fangos (M-303) .....	99
5.7. Evaluación económica.....	100
5.7.1. Gastos de explotación y mantenimiento.....	101
5.7.2. Resumen de costes de explotación y mantenimiento .....	103
5.7.3. Gestión y beneficio de los subproductos.....	104
5.7.4. Beneficio ambiental .....	105
5.8. Evaluación medioambiental .....	106
5.8.1. Descripción del proyecto .....	106
5.8.2. Identificación de impactos potenciales .....	107
5.8.3. Medidas preventivas y correctoras .....	109
5.9. Seguridad .....	111
5.9.1. Estudio HAZOP.....	111
5.9.2. Fichas técnicas de seguridad.....	117
5.10. Legislación.....	118
5.10.1. Europea .....	118
5.10.2. Española.....	119
5.10.3. Autonómica Castilla y León .....	121
5.10.4. Municipal Valladolid .....	122
6. Conclusiones .....	123
7. Bibliografía.....	127
Anexos.....	131
Anexo I.....	132
I.1. Hojas de especificaciones de equipos.....	133
I.2. Lista de líneas.....	141



Anexo II.....	143
II.1. Diagrama de bloques .....	144
II.2. Diagrama de proceso.....	147
II.3. Diagrama P&I .....	149
Anexo III.....	151
Hojas de seguridad .....	152

## 1. Resumen

Las aguas residuales procedentes de una fábrica de levaduras se generan, principalmente en tres operaciones: el sobrenadante resultante de la centrifugación, el agua procedente de la deshidratación y el agua de lavado de la levadura.

La fábrica considerada en este proyecto genera un caudal medio de aguas residuales de 2100 m<sup>3</sup>/día. Se trata de unas aguas con un alto contenido en contaminación biológica (DBO = 5000 mg/L) y con una relación DBO/DQO entorno a 0,7.

El proceso consta de un pretratamiento, consistente en la homogeneización y el ajuste de pH, concentración de nutrientes y temperatura; además de un tratamiento biológico, tanto anarobio (reactor UASB) como aerobio (fangos activos y decantador final). El tratamiento de fangos consiste en un secado de fangos mediante un filtro de bandas con polielectrolito como agente coagulante.

Los costes de explotación y mantenimiento son de aproximadamente 187.881,92 €/año, que equivale a 0,27 €/m<sup>3</sup> de agua depurada.

**Palabras clave:** Levadura, Fábrica de levadura, EDAR, Agua residual, UASB

Wastewaters proceeding from a yeast industry are generated mainly from three operations: supernatant formed during centrifugation stage; water coming from the dehydration and finally from water used to clean the yeast.

The factory considered in this thesis generates an average outflow of 2100 m<sup>3</sup>/day of wastewater. These are composed mainly of biological pollutants (BOD = 5000 mg/l) and a BOD/QOD relation from about 0.7.

This process consists in a pretreatment in which homogenization and adjustment of pH, nutrients and temperature is done. Furthermore, there is a biological treatment consisting in both anaerobic (UASB reactor) and aerobic (active sludge) treatment. The sludge treatment consists in dehydration by a belt filter using a polyelectrolyte as coagulant.



Estación depuradora de aguas residuales en una fábrica de  
levaduras  
Resumen



Costs of operation and maintenance are approximately 187, 881.92 €/year, which means a unit cost of 0.27 €/m<sup>3</sup> of treated water.

**Keywords:** Yeast, yeast industry, Wastewater treatment plant, Wastewater, UASB.



## 2. Introducción

### **2.1. *Status questionis***

El desarrollo de la industria en las últimas décadas ha llevado consigo el surgimiento de numerosos fenómenos hasta ahora inauditos o bien, simplemente, desestimados. Uno de ellos es la toma de conciencia de la contaminación producida a causa de los múltiples vertidos derivados de la actividad industrial.

La contaminación de las aguas es hoy, sin duda, un problema de tipo global. Se constata en la creciente elaboración de nuevas normativas y acuerdos internacionales que están adoptando los países para enfrentar el problema y establecer medidas preventivas. Uno de esos casos es la directiva emitida por la Unión europea en el año 2000<sup>1</sup>, conocida como Directiva Marco del Agua, que comprometía a los países miembros a cumplir una serie de objetivos medioambientales hasta el año 2015 (art. 4), objetivos que España no alcanzó satisfactoriamente[1], prorrogándolos hasta el 2021. La medida a escala municipal, en el caso de Valladolid, fue la emisión del reglamento del 14 de marzo del 2006<sup>2</sup>, que establecía, entre otras cosas, nuevos límites de vertidos para las aguas residuales industriales.

Se trata por tanto, la depuración de aguas, de un tema en claro avance y proyección, especialmente en lo que se refiere al campo de los tratamientos biológicos, muchos de ellos hasta ahora desconocidos. Es notable el progreso en estos últimos años de las biotecnologías, fruto de una mayor apuesta por la investigación y la innovación. Es el caso, por ejemplo de los reactores anaerobios, especialmente los reactores tipo UASB, como recientes estudios lo demuestran[2][3].

Este Trabajo Fin de Grado se enmarca en este contexto de desarrollo de depuradoras en la industria, concretamente en la industria de la levadura, tan importante para el

---

<sup>1</sup> Directiva 2000/60/CE: directiva que establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

<sup>2</sup> Reglamento Municipal del 14 de marzo de 2006: reglamento municipal de abastecimiento de agua potable y saneamiento.

sector de la alimentación. La levadura es un elemento esencial en varios de los principales productos alimentarios más importantes de la zona, como son el pan, el vino, el queso, etc. Es por esto que se ha seleccionado una fábrica de levaduras para el tratamiento de las aguas residuales de la misma. Los residuos procedentes de la melaza utilizada para la fermentación de las levaduras así como algunas de las operaciones llevadas a cabo en la fábrica, obtienen como subproducto agua residual con un alto contenido en materia orgánica biodegradable. Este hecho, hizo imprescindible la instalación de depuradoras que acondicionaran las aguas residuales de las fábricas de levadura antes de su vertido con el resto de aguas residuales municipales, pues no cumplían la normativa, llegando incluso a causar molestias en el entorno a causa de los malos olores[4].

## 2.2. Objetivos y alcance

Los objetivos del presente proyecto son los siguientes:

- Estudio detallado de una depuradora de aguas de una fábrica de levaduras.
- Conocimiento de los parámetros que miden la contaminación de las aguas.
- Análisis de los puntos de vertido de aguas residuales en una fábrica de levaduras.
- Caracterización de las aguas residuales y, a partir de esta, la selección de las alternativas adecuadas.
- Balances de materia y energía en la línea de aguas.
- Diseño de los equipos que intervienen en la línea de aguas de la estación.
- Preparación de los diagramas: de bloques, de proceso y de instrumentación y tuberías.
- Depuración de las aguas residuales acorde con los límites de vertido establecidos por la normativa vigente.
- Evaluación económica del proyecto.
- Estudio del impacto ambiental del proyecto.

- Estudio de los riesgos presentes durante la operación en estacionario y evaluación de las posibles medidas de seguridad.

Tratándose de un tema muy amplio y siendo un documento estrictamente académico, se refiere aquí su alcance:

- Estudio más detallado de la línea de aguas que de la línea de fangos y la línea de biogás.
- El estudio económico, se centra en los costes de explotación y mantenimiento, eludiendo el cálculo preciso de los costes de construcción de obra civil y de equipos.
- El estudio de seguridad, se centra en la evaluación de los riesgos de la operatividad en régimen estacionario (estudio HAZOP).
- No se ha especificado la localización de la levadura aunque se haya considerado el clima y los parámetros medioambientales de la ciudad de Valladolid.

### 2.3. Metodología y fuentes

La elaboración de este trabajo ha consistido, en primer lugar, en el estudio, la búsqueda bibliográfica y la investigación de las diferentes operaciones presentes en las depuradoras de aguas tanto municipales como industriales, así como de los diferentes parámetros que caracterizan la contaminación de las aguas residuales. Esta etapa ha estado destinada a adquirir una visión global y general acerca de un proceso de depuración de aguas.

En segundo lugar, se realizó una investigación con el fin de caracterizar las aguas procedentes de una fábrica de levaduras y seleccionar las operaciones unitarias adecuadas para una depuradora específicamente destinada al tratamiento de este tipo de aguas. Conociendo las distintas alternativas, se seleccionaron las debidas operaciones en función de los parámetros de contaminación establecidos. En esta etapa, se recogió también la legislación vigente en tema de aguas residuales.

El paso siguiente, consistió en el diseño de los equipos y la elaboración del diagrama de bloques y del diagrama de proceso. Para el diseño de equipos se realizó un balance de materia a partir de una capacidad de la planta establecida.

A continuación se diseñó el diagrama de tuberías y de instrumentación, detallando en él las especificaciones de los equipos, recogidas aparte en las hojas de especificaciones (anexo II).

Finalmente se realizaron el estudio económico, de impacto ambiental y de seguridad a partir de bibliografía y el estudio de trabajos similares.

Para el estudio de las operaciones de una depuradora de carácter general, resultó de gran ayuda el libro del Dr. Aurelio Hernández, *Depuración de aguas residuales*.

Para la caracterización de las aguas y la selección de alternativas, fue útil la breve visita a la fábrica de levaduras de Valladolid. Además de *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos* de Nemerow, N. L. y Dasgupta, A.

Para la parte de diseño de equipos se recurrió al *Manual del ingeniero químico* de Perry, R.H. y a *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*, volumen 6 de Sinnott, R.K.

Para el estudio de impacto ambiental se recurrió a estudios similares de Iberdrola[5].

Fueron también recurrentes los proyectos de la Uva de temática parecida, especialmente *Planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la producción de biodiesel*, de Rojo Choya, M. y *Diseño y explotación de una EDAR para una fábrica de levaduras* de Fadregas Herrera, B.

## 3. La industria de la levadura

### 3.1. La levadura

Las levaduras son seres vivos unicelulares de tipo eucariota, es decir, células que poseen un núcleo definido y delimitado por una membrana. En lo que se refiere a su forma de obtención de energía, son de tipo quimioheterótrofo, esto es que producen la energía necesaria para su desarrollo a partir de la degradación química de sustancias orgánicas.

Ya desde tiempos antiguos, las levaduras fueron utilizadas para la elaboración del pan, la cerveza y otros. Las levaduras tienen la capacidad de llevar a cabo la fermentación alcohólica de los azúcares presentes en los cereales. Tienen, generalmente, un alto contenido en proteínas y en vitaminas del grupo B, tienen por tanto importancia en la obtención de alimentos saludables y de calidad. Desde el inicio de la producción de levadura a escala industrial a partir del año 1965[6], aproximadamente, se ha convertido en un producto imprescindible para la industria alimentaria a nivel mundial.

#### 3.1.1. Estructura de las levaduras

Morfológicamente, las levaduras son principalmente de forma ovoide o esférica. No obstante, es posible hallar también levaduras con formas triangulares (*trigonopsis*), en forma de botella (*pityrosporum*), etc.

Su tamaño es aproximadamente de 20  $\mu\text{m}$  de longitud y de 1 a 10  $\mu\text{m}$  de grosor.

La composición de la pared celular de las levaduras es la siguiente:

- 80% de polisacáridos.
- 5-10% de proteínas.
- 7-10% de lípidos.
- 5% de minerales.

La pared celular consta de tres capas diferenciadas:



- la capa externa
- la capa intermedia, compuesta por microfibras de glucanos
- la capa interna, compuesta de lípidos, proteínas enzimáticas, de fosfato y de glucanos.

Pegada a la pared celular se encuentra la membrana citoplasmática, que es la que delimita el citoplasma contenido dentro de la célula. Esta membrana está formada, fundamentalmente por glicoproteínas y glicolípidos, que se encargan de asegurar una permeabilidad selectiva con el medio exterior, permitiendo el paso al agua y a otras sustancias específicas y evitando el paso de grandes moléculas.

Ya en el citoplasma, encontramos diferentes orgánulos:

- En primer lugar y el más importante es el núcleo, que suele ser pequeño y contener 17 pares de cromosomas. El plásmido es un elemento extra cromosómico presente en casi todas las *Saccharomyces cerevisiae*. Es muy utilizado como vector en las transformaciones.

Constituida de un nucléolo y de un nucleoplasma, el núcleo se encarga de dirigir la síntesis proteica. Una membrana nuclear delimita el núcleo de la célula y, gracias a ella, permanece indiviso tras la división celular.

- Los ribosomas tienen un papel importante en la síntesis de proteínas.
- El retículo endoplasmático y el aparato de Golgi intervienen en la secreción de las proteínas.
- Las mitocondrias tienen un papel importante en la descomposición de los azúcares para la obtención de energía, necesaria para el crecimiento celular. No obstante, si la concentración de glucosa es inferior al 5% se detiene la síntesis de citocromas y la respiración. También se aseguran de la fosforilación oxidativa.

### 3.1.2. Composición de las levaduras

Esta dependerá del tipo de levadura, de su modo de conservación así como de la edad de las células.

- Las levaduras son generalmente ricas en **proteínas**. El contenido en proteínas está relacionado directamente con el poder fermentativo de la levadura y a su capacidad para producir biomasa.
- Los **glúcidos**, que se encuentran fundamentalmente en la pared celular.
- Los **lípidos**, que se encuentran como lipoproteínas y como fosfolípidos en la membrana. La presencia de estos lípidos permite mantener las propiedades a lo largo del proceso de secado para la obtención de levadura seca activa.
- Los **minerales**, principalmente fósforo.

### 3.1.3. Clasificación de las levaduras

Existen tres tipos de familias:

- Las **Ascomycotina**, en ellas hay formación de endoesporas o «ascoesporas». Este grupo contiene muchas levaduras capaces de realizar fermentación.
- Las **Basidiomycotina**. Este grupo contiene pocas levaduras capaces de realizar fermentación.
- Las **Deuteromycotina**. Este grupo contiene levaduras de fermentación así como levaduras patógenas para el hombre.

### 3.1.4. Nutrientes de las levaduras

Los nutrientes más importantes que necesitan las levaduras para su crecimiento se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.:** Nutrientes principales de las levaduras [6].

Elemento químico	Intervienen en la constitución de	Función del elemento	Fuente
Hidrógeno, oxígeno	Compuestos orgánicos y agua	– El oxígeno es necesario para el desarrollo.	Agua y aire
Carbono	Compuestos orgánicos	– Fuente de energía. – Elemento más abundante de la célula.	Fuente orgánica

<b>Nitrógeno</b>	Aminoácidos y proteínas	– Síntesis de la materia viva.	NH <sub>4</sub>
<b>Azufre</b>	Algunos aminoácidos, proteínas y coenzimas	– Síntesis proteica.	SO <sub>4</sub>
<b>Fósforo</b>	Ácidos nucleicos, coenzimas y fosfolípidos	– Indispensable para toda actividad celular.	PO <sub>4</sub>
<b>Sales minerales</b>	Cofactores de reacciones enzimáticas	– La presencia de calcio acelera las reacciones bioquímicas. – El hierro y el cobre tienen importancia en el funcionamiento de enzimas respiratorias.	iones

### 3.2. Materias primas

La principal materia prima para la producción de la levadura es, sin lugar a dudas, la **melaza**. Se trata esta de un subproducto de la industria azucarera, encontrándose tanto en la caña de azúcar como en la remolacha. El componente principal de la melaza son azúcares, la mayor parte de los cuales fermentables. Se trata por tanto de la fuente de carbono que permite la fermentación, y por tanto el crecimiento, de la levadura.

Las demás materias primas son otros nutrientes necesarios para la fermentación, como son el nitrógeno, sales minerales y vitaminas. Estos se aportan añadiéndose a la melaza.

El uso de tecnología cada vez más refinada, permite un ajuste más óptimo de las cantidades de nutrientes que demanda el cultivo en cada caso.



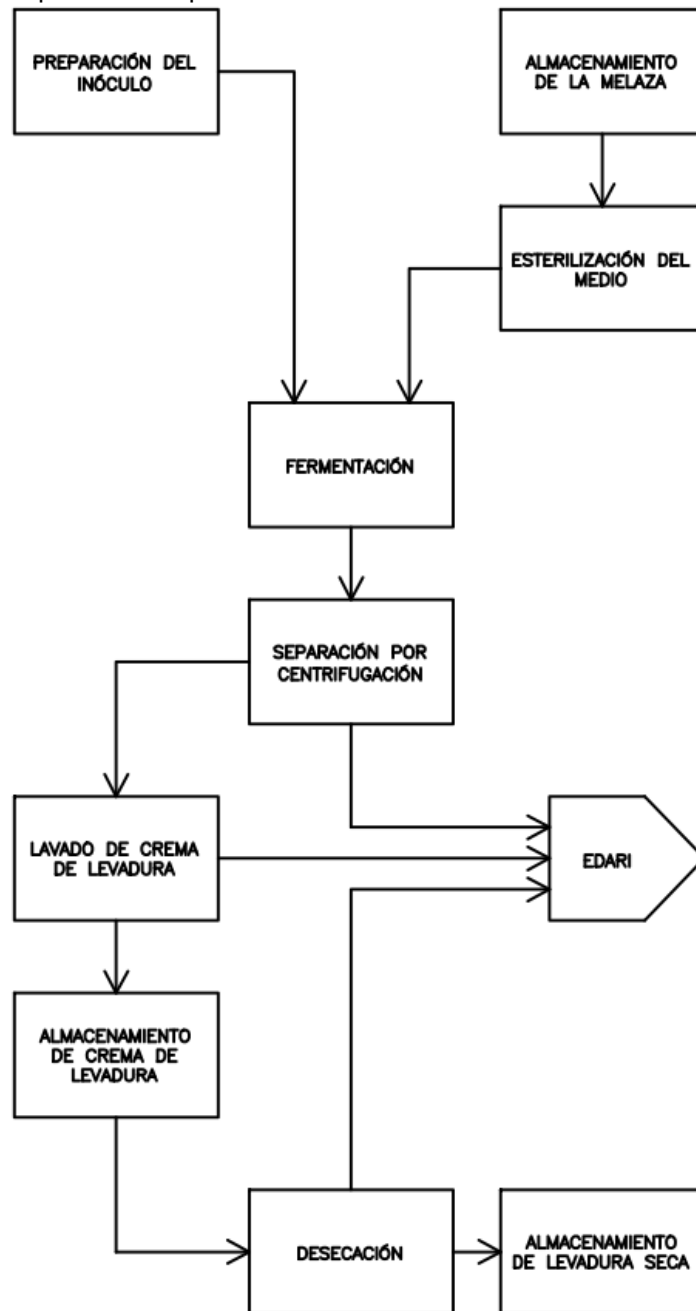


### 3.3. Proceso de producción de levadura

El proceso consiste en el crecimiento de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en un sustrato de melaza, sales minerales y vitaminas. La melaza es un subproducto generado en las fábricas de azúcar a partir de la remolacha o de la caña de azúcar con un contenido en peso de azúcares fermentables del entre 45 y 55%, en forma de sacarosa, glucosa y fructosa. Este crecimiento se lleva a cabo en los fermentadores utilizando la fuente de carbono que proporciona la melaza.

La preparación del mosto con el cual se va a alimentar a la cepa, debe prepararse en unas condiciones muy específicas, sobre todo en lo que se refiere al pH. Un pH demasiado alcalino favorecería el crecimiento de bacterias además de las levaduras, dañando el proceso. Por tanto, la melaza, después de ser clarificada para eliminar posibles impurezas, se diluye, ajustando así su pH entre 4,5 y 5,0. Posteriormente, el mosto se esterifica y se almacena en un tanque para su utilización en el posterior proceso de fermentación.

Figura 3.1.: Esquema del proceso de producción de levadura



Además de los azúcares contenidos en la melaza, para el crecimiento de las levaduras se requieren otros nutrientes, como son el nitrógeno y sales minerales. Una cierta parte de estos nutrientes se encuentran ya en la melaza, sin embargo, será necesario suministrar mayor cantidad por otro medio. Como suministro de nitrógeno se utilizan normalmente sales de amonio.

La primera etapa consiste en la preparación del inóculo de levadura. Éste es introducido en un primer fermentador batch, donde se deja crecer durante un día, aproximadamente.

Una vez preparado el inóculo, se llega a la etapa más importante de la producción: la fermentación, que es donde se dará el crecimiento de la levadura. No existe, normalmente una única etapa de fermentación sino que la levadura va pasando por diferentes fermentadores, en los cuales se va aumentando progresivamente la aireación y la adición de nutrientes. Así, la velocidad de crecimiento es cada vez mayor. La cantidad de fermentadores y, por tanto, de etapas de fermentación, dependerá en cada caso del productor, siendo lo habitual dos etapas o cuatro etapas. Cabe decir que la fermentación de la levadura es un proceso exotérmico y por tanto necesitará enfriarse por medio de un suministro de agua de refrigeración.

Una vez terminada la fermentación en el fermentador final, la levadura se separa de los componentes no fermentables de la melaza mediante una centrifugación. La crema de levadura obtenida tras este proceso, es conducida a la fase de lavado en un filtro rotatorio con agua helada a fin de retirar la sal agregada antes de filtrar para obtener una mejor deshidratación. La crema de levadura limpia, se almacena luego en grandes tanques, de donde, posteriormente se coge para procesar los distintos tipos de levadura comercial.

### 3.4. Tipos de levadura comercial

La crema de levadura, obtenida tras la fermentación es, posteriormente procesada para la obtención de un producto que puede ser de tres tipos:

- **Levadura líquida.** Se trata de la misma crema. Esta se bombea a los camiones cisterna, que previamente habrán sido limpiados y esterilizados, para su distribución.
- **Levadura comprimida o en bloques.** En este caso, debe retirarse completamente el líquido contenido en la crema y en el interior de las células de la levadura. Este secado se lleva a cabo mediante un proceso de ósmosis. La crema de levadura se mezcla con sal común. La concentración salina será, así,



superior en el exterior de la célula. Debido a la tendencia natural de igualar las diferencias de concentración (ósmosis) la célula de levadura expulsará cierta cantidad de agua de su interior. Tras este primer proceso de ósmosis, se conduce la levadura a un filtro rotatorio de vacío, donde se elimina el agua salada y se limpian nuevamente las células con agua a fin de eliminar los residuos de la sal. La levadura pegada al filtro, se separa mediante unos raspadores y es conducida a una máquina de compresión, donde se comprime, formando bloques. Estos son cortados a la medida del producto comercial y envueltos en un papel especial para su conservación.

- **Levadura granulada.** Este último tipo de levadura comercial se obtiene por el mismo proceso que la anterior. La diferencia estriba en que la levadura secada y desalada se hace pasar a través de unas láminas perforadas, obteniéndose levadura en polvo. Inmediatamente después de este proceso, la levadura se recoge en sacos y se cierran herméticamente a fin de mantener fuera el oxígeno, que puede deteriorarlo.

## 4. La EDARI (Estación Depuradora de Aguas Residuales Industriales)

### 4.1. Introducción

El documento conocido como *Carta del Agua*, elaborado en el año 1968 en Estrasburgo por la Asamblea Consultiva de Europa define la contaminación del agua como la «modificación, generalmente causada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural». Por otro lado, no hay duda que la utilización y la consecuente contaminación del agua son hechos intrínsecos al desarrollo de la agricultura (75%), la industria (10%) y los hogares (12%) [7].

La finalidad de una EDAR es eliminar o reducir la contaminación de las aguas. Para llevar esto a cabo existen, evidentemente, muchas maneras y alternativas, la más apta dependerá del proceso que se esté ejecutando en cada caso. Cada proceso tendrá un agua residual con una contaminación característica, que dependerá de muchos factores. Así, en el caso de la fábrica de levaduras, que es el que ocupa a este trabajo, se caracterizará por una alta carga de tipo biológico. En otros casos, puede haber menos carga biológica pero un contenido mucho mayor en minerales, sulfatos u otros componentes contaminantes de las aguas, lo que dará lugar a un énfasis de determinadas operaciones unitarias sobre otras.

En este apartado se realizará un estudio general de una depuradora de aguas residuales con el fin de apreciar cada una de las operaciones unitarias que forman parte del proceso de purificación de las aguas. Se podría decir, que es la correspondiente a una estación depuradora de aguas residuales urbanas, donde desembocan aguas de muy diversas procedencias, incluso las aguas residuales industriales previamente tratadas hasta unos márgenes de contaminación. Una vez

adquirida una visión general, se estudiará el caso concreto en una fábrica de levaduras.

## 4.2. Parámetros de medición de la contaminación de aguas residuales

### 4.2.1. Parámetros físicos

- **Sólidos:**
  - **SSV:** Sólidos volátiles, son aquellos que se volatilizan a 550°C. Generalmente son materia orgánica.
  - **SSS:** Sólidos en suspensión, son aquellos que no son volátiles a 550°C. En general son materia inorgánica.
  - **SST:** Sólidos totales, es el residuo que queda después de someter el agua residual a evaporación a 103-105°C.
- **Turbidez.**
- **Temperatura:** influye de un modo importante en la calidad de la vida acuática pues la solubilidad de los gases (uno tan importante como es el O<sub>2</sub>) disminuye al aumentar la temperatura.
- **Olor.**
- **Color.**
- **Conductividad.**

### 4.2.2. Parámetros químicos y biológicos

- **Orgánicos:**
  - **DQO:** Demanda Química de Oxígeno, se trata del parámetro que indica la concentración de materia orgánica en el agua residual. Es el oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua residual. Se mide en mg O<sub>2</sub>/L.
  - **DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno, se trata del parámetro que indica la concentración de materia orgánica biodegradable presente en

el agua residual. Por convenio, habitualmente se toma la DBO al quinto día, conocida como  $DBO_5$ . Al igual que la DQO, sus unidades son  $mg\ O_2/L$ .

- **DQO/DBO:** Es la relación entre la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno. Es un parámetro útil para medir la proporción de la contaminación biodegradable frente a la que no lo es.
- **DOT:** Demanda de Oxígeno Total, es la suma de la DBO y la DQO.
- **COT:** Carbono Orgánico Total, mide la concentración de carbono orgánico del agua residual. Se mide en  $mg\ C/L$ .
- **Inorgánicos:**
  - **Nutrientes:** Se trata de elementos esenciales para el crecimiento de los microorganismos en las aguas residuales. Son fundamentalmente dos:
    - **Nitrógeno:** se puede hallar de diversas formas en el agua residual, por ejemplo: nitrógeno orgánico, amoniacal ( $NH_4^+$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ) o nitrato ( $NO_3^-$ ). Un exceso en la concentración de este elemento puede producir problemas de eutrofización y toxicidad en las aguas.
    - **Fósforo:** otro nutriente esencial para el crecimiento de los seres vivos.
    - **Azufre.**
  - **Metales pesados:** Cd, Hg, Pb, As, Cr... Su origen será normalmente industrial. Aunque se encuentren en bajas concentraciones pueden resultar muy tóxicos para los seres vivos. Presentan además el inconveniente de no ser biodegradables.
  - **Sales:** cloruro, sulfato, sodio, calcio, magnesio...
  - **pH:** al igual que la temperatura, se trata de un parámetro fundamental para el desarrollo de la vida acuática. El agua vertida a un cauce natural debe tener un pH entre 6,5 y 8,5.
  - **Alcalinidad:** la alcalinidad es la presencia en el agua de iones hidroxilo ( $OH^-$ ), carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $HCO_3^-$ ). Ayuda a regular los cambios de pH.

- **Gases:**  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ... La presencia de  $O_2$  disuelto en el agua es indispensable para la vida acuática. La solubilidad de este será función de la presión parcial, de la temperatura y de la composición (ley de Henry).
- **Bacterias, Virus, Algas...**

### 4.3. Estructura general de una EDAR

Las operaciones se dividen entre la **línea de aguas**, que tiene como fin purificar el agua y devolverlas al medio natural en el mejor estado posible, y la **línea de fangos**, que se encarga de tratar los lodos formados durante los procesos de purificación del agua y mediante tratamientos adecuados, busca obtener subproductos aprovechables o bien prepararlos para su fácil eliminación. Como se verá, las operaciones llevadas a cabo a lo largo de la depuración del agua pueden ser de tres tipos, atendiendo a la naturaleza de las fuerzas depuradoras:

- **Tratamientos físicos:** homogeneización, sedimentación, flotación, floculación...
- **Tratamientos químicos:** suponen la adición de reactivos químicos. Algunos ejemplos son la coagulación, la precipitación o un ajuste de pH.
- **Tratamientos biológicos:** tratamientos aerobios y tratamientos anaerobios.

El resumen de los que sería un proceso de depuración de aguas general es el siguiente: el agua residual entra a la depuradora a un tanque de alimentación, donde se homogeniza y se almacena para ser bombeada a los distintos equipos de proceso. Por medio de un sistema de bombas, se lleva el agua a los equipos de **pretratamiento**, que consiste, en primer lugar, en un desbaste por rejillas seguido del desarenado y desengrasado. De esta manera, se han retirado los sólidos gruesos, las grasas y cualquier elemento flotante.

A continuación, se lleva el agua al primer tanque de decantación, donde se lleva a cabo la **decantación primaria**. En este punto, se produce la primera división entre línea de aguas y línea de fangos. Los fangos acumulados en el fondo de la piscina,



conocidos como **fangos primarios**, se llevan a la línea de fangos donde serán debidamente tratados.

Prosiguiendo con la línea de aguas, tras la decantación primaria, el agua se lleva al **tratamiento biológico**. Éste puede llevarse a cabo de muy diversas maneras, empezando por la selección ya sea de un proceso aerobio o de uno anaerobio, o de ambos. Esta etapa es quizás la más compleja, pues ya no se trata de un proceso físico sino también bioquímico. Se produce la acción metabólica de los microorganismos presentes en el agua y la floculación de las partículas en suspensión, lo que facilitará más su remoción en la decantación secundaria.

Al tratamiento biológico sigue siempre una decantación, la **decantación secundaria**, donde sedimentan los productos de la degradación de la materia orgánica, que son sólidos sedimentables. Estos nuevos lodos que se formarán, se unen a los fangos primarios en la línea de fangos.

El agua purificada de la decantación secundaria puede ser conducida a un tercer tratamiento para eliminar los contaminantes que todavía pueda contener. En este **tratamiento terciario**, que suele ser un tratamiento de tipo químico, se trata de asegurar que el agua quede libre de toda contaminación microbiológica. Para ellos se adicionará cloro u otro tipo de bactericida en una concentración suficientemente elevada como para eliminar aquellos microorganismos perjudiciales, pero suficientemente pequeña como para que no produzca toxicidad en el agua.

A continuación, se van a ver con detenimiento cada una de estas etapas que se han descrito previamente de manera muy resumida.

#### 4.3.1. Pretratamiento

##### 4.3.1.1. Homogeneización

Consiste en unificar todas las líneas de corriente que llevan agua residual en un único tanque de almacenamiento, de tal manera que las propiedades físico-químicas de las distintas corrientes de entrada se homogenicen y pueda abastecerse la EDAR de un agua residual en unas condiciones de caudal y carga constantes.

Una buena homogeneización de las aguas de entrada tiene como consecuencia una serie de ventajas. Por un lado, se consigue aumentar la eficacia de los tratamientos biológicos: el hecho de acondicionar las aguas permite tener un control de su pH, temperatura y demás parámetros críticos del tratamiento biológico. Por otro lado, se logra una notable mejora en la calidad del efluente de la planta.

Para mejorar la homogenización, sobre todo si el tanque es de grandes dimensiones pueden incorporarse elementos que mejoren la eficacia de la mezcla. Los tres elementos más típicos son los deflectores, las palas de agitación y los difusores de aire. Para obtener la eficacia de mezcla adecuada se utiliza uno de estos tres elementos o una combinación entre dos de ellos o los tres. La selección dependerá de la eficacia de mezcla que requiera el proceso.

La aireación tiene, además de obtener mejor mezcla, otros fines[8] para los cuales sea necesaria su utilización en el tanque de homogeneización. Estos son:

1. Oxidación química de los compuestos reducidos.
2. Oxidación biológica parcial.
3. Agitación para impedir que precipiten los sólidos en suspensión.

La capacidad del tanque debe ser la adecuada para mantener y hacer homogéneos todos los vertidos de la planta. Cuando la planta trabaja por ciclos de, por ejemplo, dos horas, el tanque de homogeneización debe ser por lo menos suficientemente grande como para almacenar el agua durante esas dos horas. De la misma manera para plantas que operan durante todo el día.

Es útil disponer de un controlador de nivel, que asegure mantener el tanque siempre dentro de unos límites superior e inferior de llenado del tanque. Si el caudal de entrada a este tanque es excesivo y sobrepasa su capacidad en un momento dado, es necesario disponer de un aliviadero de entrada que recoja el agua perdida y esta pueda ser reintroducida posteriormente en el tanque.

Para bombear el agua residual antes del pretratamiento, por el cual se retiran los sólidos más gruesos, es necesario, en el caso de presencia de utilizar rejillas que eviten que las bombas se bloqueen o bien usar un tipo de bomba especial, utilizada en la elevación de aguas residuales denominada tornillo de Arquímedes, que puede absorber caudales muy variables sin automatismos especiales.

#### 4.3.1.2. Desbaste

La instalación de rejillas de desbaste en las depuradoras es algo indispensable, salvo en raras excepciones. El objetivo de esta operación es eliminar los sólidos más gruesos que pudiera contener el agua residual, evitando así importantes daños. Se evita la obstrucción en canales, tuberías y conducciones en general, además se interceptan materias que, por sus dimensiones, podrían dificultar el funcionamiento de los equipos. Así, se mejora el rendimiento de las operaciones posteriores.

Los sólidos acumulados se eliminan ya sea por incineración o en vertederos de residuos sólidos.

#### ***Tipos de rejillas***

Según el criterio que se elija, existen diferentes tipos de rejillas de desbaste[9].

a) **Criterio de inclinación de rejilla.** Se refiere a la posición de la malla o criba.

Podemos distinguir:

- **Horizontales**
- **Verticales**
- **Inclinadas**
- **Curvas**

b) **Criterio de la separación libre entre barras.** Se clasifican en:

- **Finas:** se considera a aquellas en que la separación libre de aberturas es inferior a 1,5 cm.
- **Medias:** la separación media oscila entre 1,5 y 5,0 cm. Son las más empleadas en la actualidad.
- **Gruesas:** rejas con una abertura entre 5,0 y 15,0 cm.

c) **Criterio de limpieza de las rejillas.** La limpieza de las rejillas, ya sea manual o automática, puede hacerse de dos maneras distintas:

- **Con intervalo de tiempo fijo:** tiene la ventaja de ser sencillo y no precisar personal especializado.
- **Con intervalo de tiempo modificado con arreglo al grado de obstrucción de la rejilla:** es un procedimiento más complejo ya que lleva incorporado el motor

de accionamiento del aparato de limpieza. De tal manera que, por medio de un control eléctrico, se mide la retención de sólidos y sólo se activa el sistema de limpieza cuando se cierra el circuito debido a que la acumulación de sólidos ha llegado a un límite establecido. Este sistema presenta múltiples ventajas, principalmente de ahorro y de menor desgaste de la maquinaria.

### ***Diseño de rejillas***

En general, en las depuradoras se colocan una serie de rejillas de desbaste grueso seguidas de rejillas de desbaste medio. El número de rejillas utilizado dependerá de cada instalación, vendrá dado por el tipo y las características del agua a tratar.

Conviene distinguir entre velocidad de aproximación ' $v_c$ ' y velocidad de paso entre las barras de la rejilla ' $v_r$ '. Algunas de las recomendaciones que se han dado son las siguientes[9]:

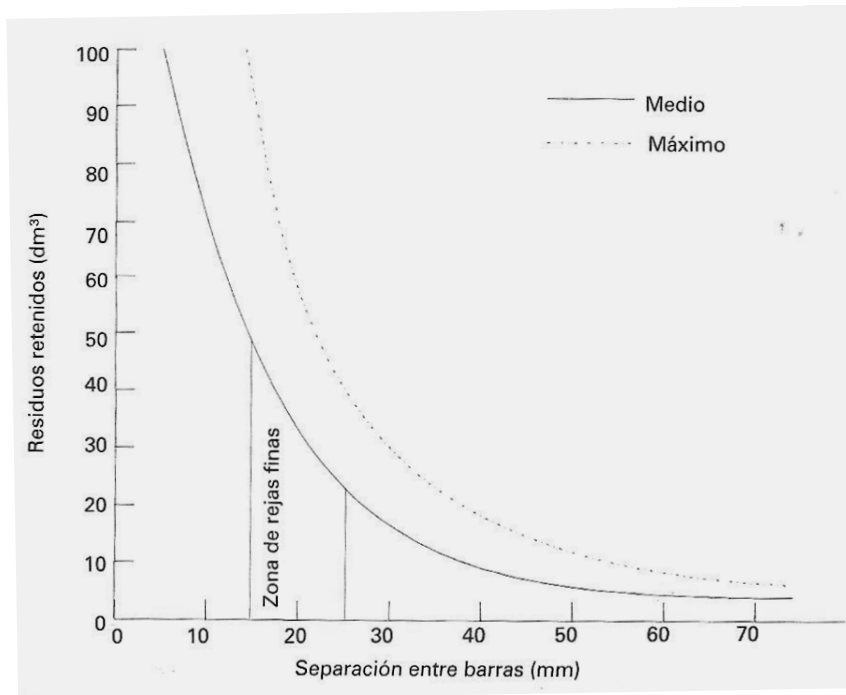
- BABBIT-BAUMANN
  - $v_c \geq 0,60$  m/s (sistema unitario)
  - $v_c \geq 0,30$  m/s (sistema operativo)
- Comité Conjunto de Ingenieros de Sanidad Pública de la Cuenca Superior del Mississippi
  - $V_r = 0,30$  m/s (limpieza manual)
  - $V_r \leq 0,75$  m/s (limpieza mecánica)
- BARNES
  - $V_r \leq 1$  m/s
- STEEL
  - $v_r \leq 0,90$  m/s
- IMHOFF
  - $v_r \leq 0,90$  m/s (desbaste grueso)
  - $v_r \leq 0,70$  m/s (desbaste medio)
- GUERREE
  - $v_c > 0,60$  m/s
- IMHOFF-FAIR
  - $v_r \leq 0,75$  m/s



- A. HERNÁNDEZ
  - $v_r > 0,60$  m/s
  - $v_r < 1,0$  m/s (con limpieza a favor de corriente)
  - $v_r < 1,2$  m/s (con limpieza en contracorriente)

Para poder realizar estimaciones, se puede considerar el volumen de sólidos retenidos en función de la separación de las barras de la malla reflejada en la gráfica (Figura 4.1.), donde se muestran valores medios y máximos.

Figura 4.1.: Retención de sólidos en función de la separación libre de rejillas. [9]



### Dimensionado de rejillas

Para dimensionar las rejillas se deben tener en cuenta dos parámetros fundamentales que son la velocidad del fluido y la pérdida de carga que se establece a través de la rejilla. La siguiente ecuación define la anchura del canal en la zona de rejillas [9].

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B + S}{S} \right) + C \quad (\text{Ec. 4.1.})$$

Siendo:

W = ancho del canal de rejillas (m).

F = caudal máximo que pasa (m³/s).

V = velocidad máxima del agua en rejillas (m/s).

D = nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal máximo (m).

B = ancho de barrotes (m).

S = separación libre entre barrotes (m).

C = coeficiente de seguridad (m), tomando los siguientes valores

Rejillas finas: 0,10 m.

Rejillas gruesas: 0,3 m.

El nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal máximo, 'D', es la suma de la altura de la lámina de agua, aguas abajo, más la pérdida de carga en reja.

La pérdida de carga a través de una reja puede establecerse según la fórmula siguiente [9]:

$$\Delta h = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 4.2.})$$

Siendo,

$\Delta h$  = pérdida de carga (m).

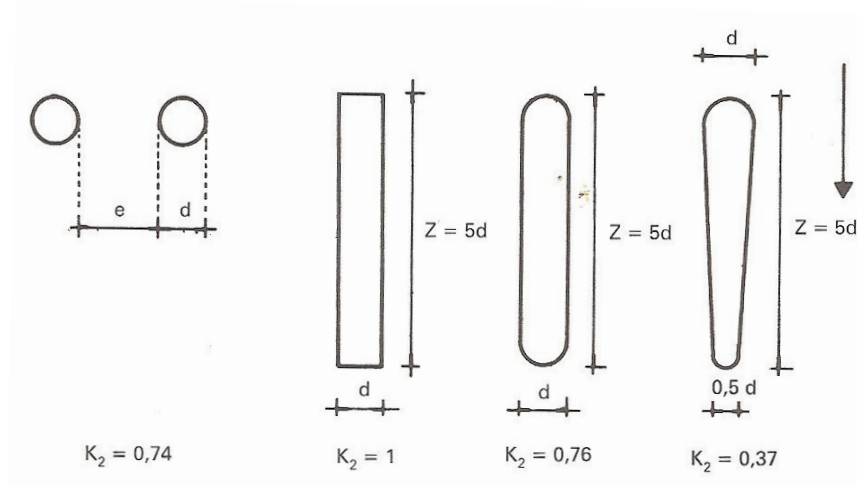
$V$  = velocidad de acercamiento en el canal (m/s).

$g$  = gravedad ( $m/s^2$ ).

Los valores de las constantes se determinan de la manera siguiente:

- Valores de  $K_1$ :
  - Reja limpia:  $K_1 = 1$
  - Reja atascada:  $K_1 = \left(\frac{100}{c}\right)^2$ , siendo  $C$  el porcentaje de sección de paso que subsiste en el atascamiento tolerado.
- Valores de  $K_2$ : se determina según la forma de la sección horizontal de los barrotes, que se muestran en la figura.

**Figura 4.2.:** Distintas secciones de barrotes. [9]



- Valores de  $K_3$ : se calcula según la sección de paso entre barrotes. Se determina según los valores de la Tabla 4.1. donde,

$e$  = espacio entre barrotes.

$d$  = anchura de los barrotes.

z = espesor de los barrotes.

h = altura sumergida de los barrotes, vertical y oblicua.

**Tabla 4.1.:** Valores de  $K_3$  según la sección de paso entre barrotes. [9]

	$\frac{e}{e+d}$									
$\frac{z}{4} \left( \frac{2}{e} + \frac{1}{h} \right)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	245	51,5	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,42	0,13	0
0,2	230	48	17,4	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	221	46	16,6	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,6	199	42	15	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	164	34	12,2	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1	149	31	11,1	5,00	2,40	1,20	0,91	0,29	0,11	0,02
1,4	137	28,4	10,3	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2	134	27,4	9,90	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3	132	27,5	10,0	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,05

Otra manera de calcular la pérdida de carga a través de los barrotes es mediante la fórmula de Kirschner [g]:

$$\Delta h = f \cdot \left[ \frac{a}{b} \right]^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2g} \operatorname{sen} \alpha \quad (\text{Ec. 4.3.})$$

Siendo:

$\Delta h$  = pérdida de carga (m).

f = coeficiente dependiendo de la forma de los barrotes 1,79 para barrotes redondos, 1,67 para los barrotes planos con aristas redondeadas y 2,42 para barrotes planos con aristas vivas.

a = anchura de barrotes (mm).

b = separación de los barrotes (mm).

$\alpha$  = ángulo de la rejilla con la horizontal.

v = velocidad (m/s).



Si se pretende llegar a una eliminación de residuos sólidos muy fina pueden utilizarse tamices después de las rejillas. Los tamices pueden llegar a una separación entre barras de hasta 0,2 mm. Se pueden clasificar en:

- Tamiz plano estático.
- Tamiz curvo estático tipo Noggerath.
- Tamiz giratorio con sistema de limpieza, tipo Filtrarotor.
- Tamiz con superficies móviles tipo Esmil.

#### 4.3.1.3. Desarenado

Una vez atravesadas las rejillas y los tamices oportunos se habrá podido eliminar una cantidad importante de los sólidos que estaban presentes en el agua residual. Sin embargo, todavía pueden existir elementos en suspensión, finos pero suficientemente abundantes como para que se deba buscar un tratamiento que reduzca su concentración. Se trata de arenas, arcillas o limos. Las principales características de estas partículas son dos: no son putrescibles, por un lado; y por el otro, tienen velocidades de sedimentación sensiblemente superiores a las de los sólidos orgánicos putrescibles. Debido a esta velocidad de sedimentación superior, será posible efectuar una separación. En eso consiste esta fase del pretratamiento, que es el desarenado: en provocar una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica. Los desarenadores, podemos decir, son un tipo muy concreto de sedimentadores. Este proceso, bien podría hacerse en la decantación primaria, junto a los demás sólidos, sin embargo, en muchos casos es conveniente llevar a cabo el desarenado para no complicar los procesos del tratamiento de lodos.

Se pueden distinguir tres tipos de desarenadores:

- **Desarenadores de flujo horizontal:** está constituido por un ensanchamiento en la sección del cañón de pretratamiento, de forma que se reduce la velocidad de la corriente a valores inferiores a los 20-40 cm/s, en desarenadores estáticos, y entre 2,5 y 15 cm/s en desarenadores aireados.
- **Desarenadores de flujo vertical:** se impulsa el agua con una velocidad ascensional inferior a la caída de granos de arena y superior, a ser posible, a la

de caída de las partículas de materia orgánica. Una buena velocidad ascendente sería de 6 cm/s, ya que la velocidad de caída de materia orgánica es de 3 a 4 cm/s.

- **Desarenadores de flujo inducido:** en ellos se utiliza un dispositivo para generar corrientes de agua por flujo de agua o aire.

### ***Diseño de desarenadores***

Hay que tener en cuenta las fuerzas que tienen lugar cuando una partícula se encuentra en el seno de un líquido. Se verá sometida a la fuerza de la gravedad, en primer lugar, generándose un movimiento uniformemente acelerado. A medida que crezca la velocidad de la partícula, irá creciendo también la fuerza de rozamiento hasta llegar a un momento en el cual se neutralizarán ambas fuerzas, anulando la aceleración y generando un movimiento de velocidad constante. Esta velocidad es conocida como velocidad de caída de partícula. Así, expresado en ecuaciones[10] quedará:

$$F = (\rho_d - \rho)g \cdot V \quad (\text{Ec. 4.4.})$$

$$R = \frac{1}{2} C_d \cdot A_p \cdot \rho \cdot v^2 \quad (\text{Ec. 4.5.})$$

Siendo,

F = fuerza gravitatoria.

R = fuerza de rozamiento generada por el desplazamiento de la partícula.

$\rho_d$  = densidad de partícula.

$\rho$  = densidad del líquido.

g = aceleración de la gravedad.

V = volumen de la partícula.

$C_d$  = coeficiente de rozamiento.

$A_p$  = superficie de la partícula en un plano perpendicular a la dirección del desplazamiento de la partícula.

v = velocidad de caída de la partícula.

Si se igualan las dos fuerzas es posible hallar la velocidad de caída, obteniéndose la expresión siguiente:

$$v = \left( 2 \frac{V}{A_p} \cdot \frac{g}{C_d} \cdot \frac{\rho_d - \rho}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 4.6.})$$

Siendo para partículas esféricas de diámetro 'd':

$$v = \left( \frac{4d}{3} \cdot \frac{g}{C_d} \cdot \frac{\rho_d - \rho}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 4.7.})$$

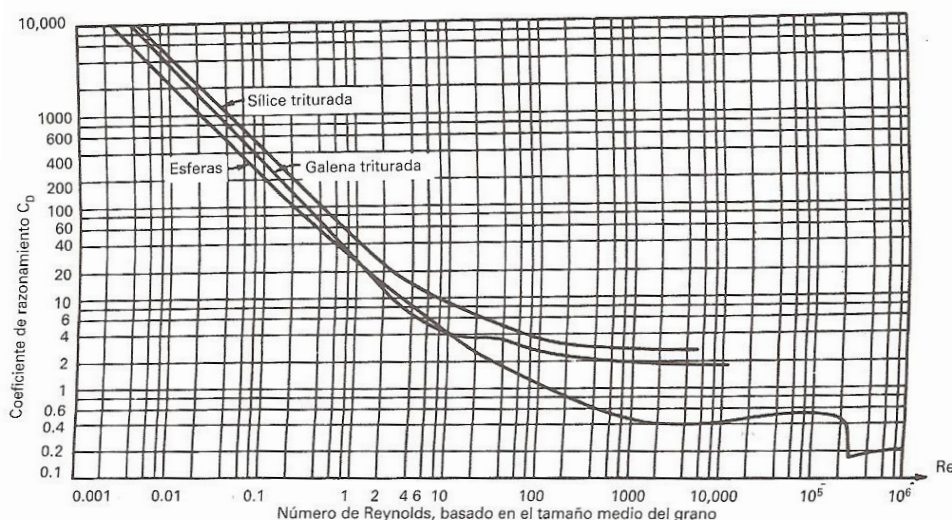
Para determinar el coeficiente de rozamiento, 'C<sub>D</sub>', es necesario conocer el régimen de corriente del líquido, para ello, se emplea el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\gamma} \quad (\text{Ec. 4.8.})$$

Donde  $\gamma$  es la viscosidad cinemática del fluido.

La relación entre el Re y el coeficiente de rozamiento se halla mediante la gráfica siguiente:

**Figura 4.3.:** Obtención del coeficiente de rozamiento, C<sub>D</sub>. [10]



Se pueden distinguir tres zonas, según el número de Reynolds:

- Zona de régimen laminar:  $10^{-4} < Re < 10^{-1}$

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (\text{Ec. 4.9.})$$

- Zona de transición:  $5 \times 10^{-1} < Re < 2 \times 10^3$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (\text{Ec. 4.10.})$$

- Zona de régimen turbulento:  $Re > 2 \times 10^3$

$$C_D = 0,40 \quad (\text{Ec. 4.11.})$$

#### 4.1.3.4. Desengrasado

Como último paso a considerar en el pretratamiento se encuentra el proceso de desengrasado, que consiste en la remoción de las grasas, que generan numerosos problemas en la depuración de las aguas residuales debido a que causan obstrucciones, dificultan la sedimentación de partículas y aumentan la DQO.

Las cámaras de grasas tienen como fundamento el aprovechamiento de la menor densidad de los aceites y las grasas, que las hace subir a la superficie al reducir la velocidad de las aguas. Debido a esta propiedad, existen desengrasadores estáticos y desengrasadores que incorporan la aireación para favorecer la desemulsión. El tipo de sistema a utilizar depende en cada caso del tipo de aceite y su procedencia, pueden existir concentraciones muy distintas según se trate de un agua residual u otra. Los tipos de separación de grasas pueden ser:

- Compuerta fija, que se abre periódicamente.
- Placa deflectora orientable.
- Tubo pivotante.
- Rasquetas de superficie.
- Bandas desengrasadoras.
- Tambores desengrasadores.
- Sistema VORTEX.
- Flotación.

#### 4.1.3.5. Eliminación de residuos del pretratamiento

Los residuos obtenidos durante el pretratamiento son, fundamentalmente, sólidos gruesos, arenas y grasas y otros elementos flotantes. Después de haber separado estos residuos, se prensan (disminuye humedad y retrasa posibles malos olores) y se conducen conjuntamente para su eliminación a los posibles métodos[11]:

- **Enterramiento** (es necesario mucho espacio).
- **Incineración** (resulta caro).
- **Relleno de tierras.**
- **Incorporación al tratamiento de basuras urbanas**, sistema compartido de recogida y eliminación.
- **Trasporte a vertedero** (sistema más utilizado).

#### 4.1.4. Tratamiento primario

##### 4.1.4.1. Depuración primaria

Con el pretratamiento se ha logrado separar una gran cantidad de sólidos: los más grandes. Sin embargo, la mayor parte de las sustancias en suspensión y en disolución no se han podido eliminar debido a su tamaño diminuto, a su finura y a su densidad. Ni por medio de rejillas, ni desarenadores, ni las cámaras de grasas, ni siquiera mediante flotación se han podido eliminar.

Aquí entra en juego la decantación primaria, que pretende eliminar precisamente aquellos sólidos que, por su finura, no han podido ser eliminados en el pretratamiento. Consiste en reducir la velocidad de la corriente por debajo de un determinado valor de tal manera que las partículas vayan sedimentando en el fondo del depósito, formando lo que se conocerá con el nombre de fangos primarios. Mediante esta primera decantación se logrará una eliminación de un 50 a un 60 por 100 de las materias en suspensión. Cabe tener en cuenta que existirá también un cierto arrastre de microorganismos, con su consecuente disminución de DBO.

Debido a la gran variedad de condiciones en que se pueden encontrar las aguas residuales, resulta difícil establecer una fórmula que se pueda aplicar con precisión al

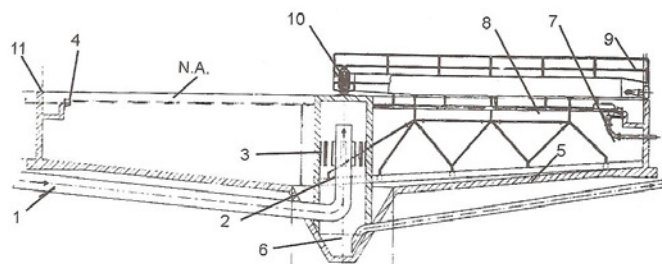
proceso real de decantación. Algunas de las condiciones determinantes son las siguientes:

- **Tamaño de partículas:** cuanto mayor es este, mayor es la velocidad de sedimentación.
- **Peso específico de las partículas.**
- **Concentración de sólidos en suspensión:** cuanto mayor es la concentración, más eficaz es la eliminación.
- **Temperatura:** a mayor temperatura menor es la densidad del líquido y más rápida la sedimentación.
- **Tiempo de retención:** cuanto más grande, mayor eficacia.
- **Velocidad ascensional:** la eficacia de la decantación disminuye al aumentar la velocidad ascensional.
- **Velocidad de flujo.**
- **Acción del viento sobre la superficie del líquido.**
- **Fuerzas biológicas y eléctricas.**
- **Corto-circuitos hidráulicos.**
- El número de **FROUDE**.

$$\left( Fr = \frac{V_h^2}{gR} \right) \quad (\text{Ec.4.12.})$$

Los decantadores primarios son, en general de forma circular, aunque también pueden ser rectangulares. Está constituido de los elementos siguientes, que se pueden apreciar en la Figura 4.4.

**Figura 4.4.:** Sección de un decantador. [12]



1. **Conducto de entrada de agua,** a través del cual se inyecta el agua proveniente del pretratamiento a fin de decantarse. Se introduce a una velocidad pequeña,

- debe difundirse homogéneamente por todo el tanque desde el primer momento.
2. **Cámara de tranquilización**, en la cual se encuentran los deflectores.
  3. **Deflectores**, cuyos objetivos son dobles. Por un lado, asegurar una repartición homogénea de la entrada de agua en el tanque y, por otro lado, retener los posibles sólidos que se hayan podido pasar accidentalmente.
  4. **Vertedero de salida**: su nivelación es muy importante para el funcionamiento correcto de la clarificación. Por otro lado, para no provocar levantamiento de los fangos sedimentados, la relación del caudal afluente a la longitud total del vertido debe ser menor de 10-12 m<sup>3</sup>/h/m.
  5. **Barredora de lodos**, a una velocidad inferior a la límite de sedimentación, el objetivo es evitar que los fangos se incrusten en el fondo del tanque y procurar que los fangos se vayan acumulando en la poceta para su recogida.
  6. **Poceta de fangos**, donde se van acumulando los fangos y donde se recogen.
  7. **Tolva recogida de grasas y flotantes**.
  8. **Rasqueta de superficie**.
  9. **Puente**, para los operarios.
  10. **Motor**.
  11. **Canaleta de recogida de agua decantada**.

### *Diseño de un decantador*

Es preciso conocer el caudal de agua a tratar y la carga contaminante que contiene. Si no se conoce, se puede realizar una estimación a partir de la población y de la dotación diaria. Para el dimensionado de los decantadores, además hará falta atender a los siguientes puntos [12]:

- Superficie de decantación:

$$S = \frac{Q}{v} \quad (\text{Ec. 4.13.})$$

'v' es la velocidad ascensional y 'Q' el caudal a tratar.

- Volumen de decantación:

$$V = Q \cdot T_r \quad (\text{Ec. 4.14.})$$

$T_r$  es el tiempo de retención.

- Rendimiento de depuración, en función de la velocidad ascensional y el tiempo de retención.
- Dimensiones de zona de entrada.
- Vertedero de salida:

$$L = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ec. 4.15.})$$

'L' es la longitud necesaria de vertedero (m) y 'V' la carga de salida por el vertedero ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ).

- Barrederas de fango, que tendrán un valor mínimo de 0,3 m/min, un valor típico de 0,6 m/min y un valor máximo de 1,2 m/min.
- Caudales de fangos producidos. Relación entre parámetros:

$$Q_f = \frac{K \cdot C \cdot Q}{10000 \cdot C_1} \quad (\text{Ec. 4.16.})$$

Siendo,

$Q_f$  = caudal medio de fangos producidos ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$Q$  = caudal medio de agua a tratar ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$K$  = coeficiente de reducción de sólidos en suspensión en la decantación.

$C$  = concentración de sólidos en suspensión en el agua bruta (ppm).

$C_1$  = concentración de fangos en la salida de purga del decantador, %.

- Pocetas de fangos. Relación entre parámetros:

$$V = Q_f \cdot T_r \quad (\text{Ec. 4.17.})$$

Siendo,

$V$  = volumen de poceta ( $\text{m}^3$ ).

$Q_f$  = caudal medio de fangos producidos ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$T_r$  = tiempo de retención del fango en pocetas (h).

Al final, lo que nos interesará saber es el rendimiento de la decantación, es decir, el tanto por cien de DBO eliminada en función del tiempo de retención en el decantador. En función del rendimiento que se quiera obtener tendremos un tiempo de retención.



Por medio este tiempo y del caudal de entrada de agua residual a la depuradora, se calcularán las dimensiones del depósito.

#### 4.1.3.1. Flotación

Es posible que hayan quedado sólidos flotantes que, evidentemente, no hayan podido ser eliminados mediante decantación. Estas partículas flotantes, que pueden tratarse también de espumas, pueden hallarse en la superficie o bien en el seno del líquido.

La operación física de flotación consiste en separar estos sólidos introduciendo burbujas de aire ascendentes. Las burbujas de aire se adhieren a las partículas llevándolas a la superficie, donde son recogidas por medio de rasquetas. Una ventaja fundamental de esta operación es que permite la separación rápida y eficaz de partículas que, aun siendo sedimentables, tardarían mucho tiempo en llegar a lo hondo del sedimentador.

Se trata, obviamente, de una operación competitiva con la decantación y no es posible simultanearlas. No obstante, la flotación puede llegar en algunos casos a sustituir completamente la decantación primaria.

#### 4.1.4. Tratamiento secundario

Existen dos alternativas posibles en el tratamiento secundario, que se seleccionarán en función de la biodegradabilidad de los sólidos presentes en el agua residual tras la decantación primaria. Para medir la biodegradabilidad de un agua, se mide la relación  $DBO_5/DQO$ . Cuanto más se aproxime ésta a la unidad, más biodegradable será. Si consideramos un agua residual mayormente biodegradable, convendrá utilizar un tratamiento biológico. Si, por el contrario, existe muy poca demanda bioquímica de oxígeno comparada con la demanda química, se empleará un tratamiento químico. Por tener una idea más precisa, se seguiría un criterio como el siguiente [13]:

- $\frac{DBO_5}{DQO} > 0,4$  : sería biodegradable, pudiéndose utilizar tanto lechos bacterianos como fangos activos.
- $0,2 < \frac{DBO_5}{DQO} < 0,4$  : biodegradable pero siendo recomendable la utilización de lechos bacterianos.

- $\frac{DBO_5}{DQO} < 0,2$  : muy poco o nada biodegradable, en ellos no es adecuado la

utilización de métodos biológicos. Es conveniente recurrir a procesos químicos. Inevitablemente, los tratamientos biológicos presentan mayores ventajas que los químicos, ya que en ellos son los microorganismos los que se ocupan de llevar a cabo las reacciones y no se precisa, como en el caso de los tratamientos químicos, de personal especializado que haya de velar por una dosificación correcta. El sistema biológico tiene inercia suficiente para aceptar las modificaciones de carga y problemas que puedan surgir. Al final, en los tratamientos biológicos de lo único que se trata es de mantener las condiciones ambientales adecuadas para que los microorganismos puedan vivir, introducir un caudal constante y una carga orgánica también constante. No obstante, el tratamiento químico puede ser empleado como tratamiento terciario para obtener una eliminación más completa de los contaminantes, o bien para eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo. Un tratamiento químico habitual en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas sería la cloración.

#### 4.1.4.1. Depuración biológica

Tras la decantación primaria, se ha eliminado una cantidad considerable de los sólidos presentes en el agua de entrada a la depuradora. Sin embargo, todavía se encuentra con un 42% a un 60% de los sólidos. La separación de estas partículas por procesos físicos es prácticamente imposible y por eso requieren procesos químicos, en este caso bioquímicos.

#### **Fundamentos**

Para la remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales, sin lugar a dudas, el mecanismo más importante es el metabolismo bacteriano. Las bacterias utilizan la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Por tanto, en el metabolismo pueden darse dos posibles operaciones. Por un lado la liberación de energía por medio de la rotura de enlaces químicos de las moléculas orgánicas (**catabolismo**). Por otro, la síntesis de nuevas moléculas y nuevo material celular (**anabolismo**). Para llevar a cabo este último proceso es necesario

utilizar energía, por ello, solamente será viable si existe producción de energía (catabolismo).

El catabolismo se divide en dos procesos fundamentales:

- **Catabolismo oxidativo.** Se trata de una reacción redox, donde la materia orgánica es el reductor, que es oxidada. El oxidante sería el oxígeno, sulfato o nitrato.
- **Catabolismo fermentativo.** No hay presencia de oxidante: el proceso resulta en un reordenamiento de los electrones de la molécula fermentada.

Teniendo en cuenta estos dos tipos de catabolismo, la depuración biológica de las aguas puede distinguirse entre tratamientos anaerobios y tratamientos aerobios.

En las aguas residuales pueden encontrarse de 300 a 600 millones de microorganismos en 100 ml de agua. Mediante la acción metabólica de éstos, se logra transformar la materia orgánica en agua depurada, productos volátiles como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y materia viva.

Para llevar a cabo las reacciones metabólicas, los microorganismos se sirven de unos catalizadores orgánicos de naturaleza proteica denominados enzimas, producidos por ellos mismos. Según el tipo de reacción enzimática que catalicen habrá de un tipo u otro, como las hidrolasas para reacciones de hidrólisis o redoxasas para reacciones de reducción.

Las enzimas son muy sensibles sobre todo a dos factores, que son la temperatura y el pH. Por ello conviene tener un cierto control de estos dos parámetros en el reactor biológico que se utilice. Una temperatura demasiado elevada, provocaría la desnaturalización de la proteína, pues perdería su estructura terciaria, que es la que le confiere el carácter enzimático. La depuración biológica deberá llevarse a cabo, por tanto, a una temperatura cercana a la ambiental, entre  $12^\circ\text{C}$  y  $38^\circ\text{C}$  (zona mesofílica). Por otro lado, las enzimas son activas en una estrecha franja alrededor de un pH determinado y que, normalmente, no puede ser muy diferente del pH neutro.

Otro aspecto a tener en cuenta al considerar las reacciones enzimáticas que se van a desarrollar en el proceso, es la posible presencia de inhibidores de la actividad catalizadora de las enzimas en forma de sales solubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, el cloro y sus compuestos, que puedan estar presentes en el agua

residual. Por ello conviene tener una buena homogeneización y haber depurado en la medida de lo posible estas sustancias en las etapas anteriores.

### ***Tratamiento anaerobio***

Este tratamiento se caracteriza porque en él se produce una digestión anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual. Se trata, la digestión aeróbica, de un proceso fermentativo que se caracteriza por la conversión de la materia orgánica en metano y dióxido de carbono, en ausencia de oxígeno. Este producto gaseoso de la fermentación es el denominado biogás.

En el tratamiento anaerobio, debido a la ausencia de un oxidante, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. Por tanto, la DQO del metano producido equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica (90 a 97%) mientras que una pequeña parte es convertida en lodo (3 a 10%).

La degradación anaerobia requiere la intervención de varios tipos de bacterias que se encarguen de las distintas etapas de descomposición de la materia orgánica. Estas bacterias son las siguientes:

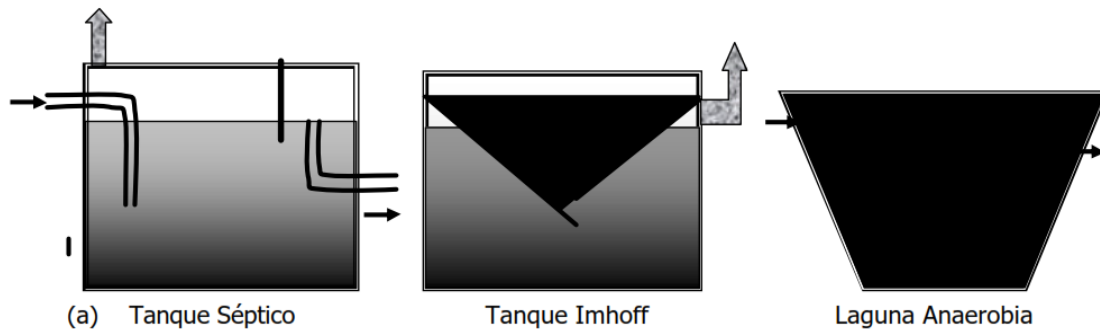
- **Bacterias hidrolíticas**, encargadas de la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular que son transportadas a través de la membrana celular de las bacterias fermentativas.
- **Bacterias fermentativas**, son las encargadas de la acidogénesis, esto es, la transformación de los productos de la hidrólisis en ácidos grasos de bajos números de carbonos..
- **Bacterias acetogénicas**, se encargan del proceso de acetogénesis, que consiste en la transformación de los productos de la fermentación en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.
- **Bacterias metanogénicas**, como su nombre indica, se encargan de la obtención de metano a partir de acetato. Como subproducto se obtiene también dióxido de carbono.

Durante la digestión anaerobia, simultáneamente puede producirse también la reducción del sulfato a sulfuro de hidrógeno por medio de las bacterias sulfato reductoras (BSR). Hay que tener en cuenta que estas bacterias compiten con las demás por su fuente de carbono, la materia orgánica. Estas bacterias tienen, sin duda, un papel importante en las etapas finales de la degradación de la materia orgánica.

Los distintos tipos de reactores anaerobios se clasifican, generalmente en tres clases:

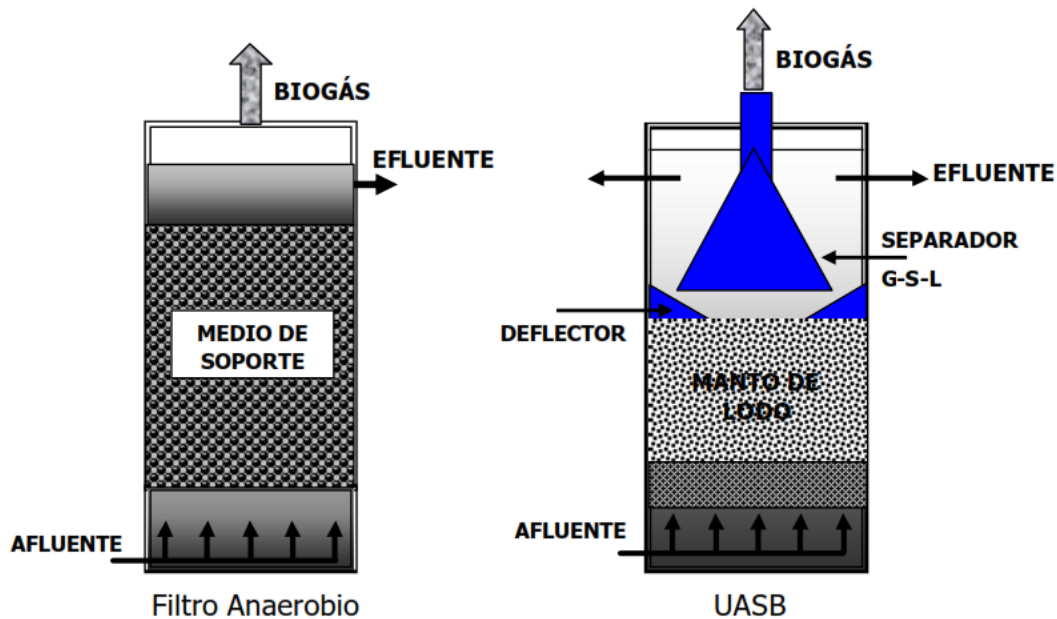
- **Reactores de primera generación:** en estos, el tiempo de retención celular equivale al TRH, por lo que se requieren TRH muy altos. Existe un contacto inadecuado entre la biomasa y la materia orgánica.

**Figura 4.5.:** Reactores anaerobios de primera generación. [14]



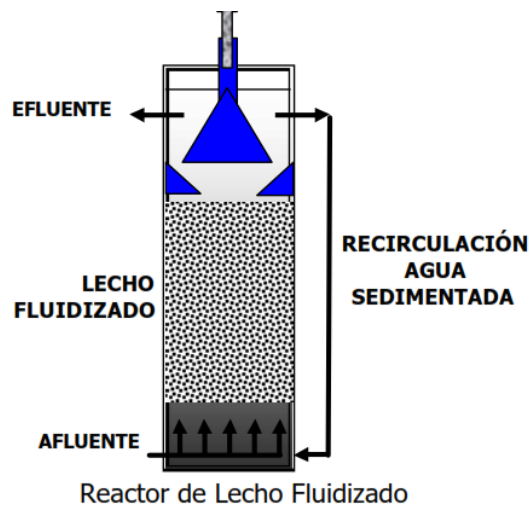
- **Reactores de segunda generación:** su característica principal es que poseen mecanismos de retención de los lodos, independizando así el tiempo de retención celular del TRH. Los dos mecanismos más utilizados son:
  - Inmovilización del lodo por adhesión a material sólido.
  - Separación líquido-sólido del efluente.

Figura 4.6.: Reactores anaerobios de primera generación. [14]



- **Reactores de tercera generación:** la biomasa se adhiere a partículas de arena y, de esta forma, se logra un mayor contacto con el sustrato.

Figura 4.7.: Reactor anaerobio de tercera generación. [14]



### Tratamiento aerobio

En este caso, a diferencia del tratamiento anaerobio, se llevan a cabo procesos catabólicos de tipo oxidativo. En la mayoría de los casos, el agente oxidante será el oxígeno. Sin embargo, normalmente éste no está presente en las aguas residuales y

será necesario introducirlo artificialmente. La forma más conveniente es la disolución del oxígeno de la atmósfera por medio de una aireación mecánica. No obstante, este método implicará unos costos operacionales elevados, que no se encuentran en los tratamientos anaerobios.

La mayor parte de la DQO de la materia orgánica, en este caso, es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado.

Debido a que los microorganismos deben actuar sobre la materia orgánica, esta asociación debe ser facilitada mediante métodos de homogenización. Los sistemas técnicos prácticos más homogéneos son:

- **Lechos bacterianos**, en los cuales se incorporan elementos soportes, donde se fijan los lodos y los microorganismos, distribuyendo homogéneamente la materia orgánica.
- **Fangos activos**, en los cuales la materia orgánica se mantiene dentro de la masa de agua en suspensión y homogeneizada por sistemas hidráulicos, mecánicos o por inyección de aire.

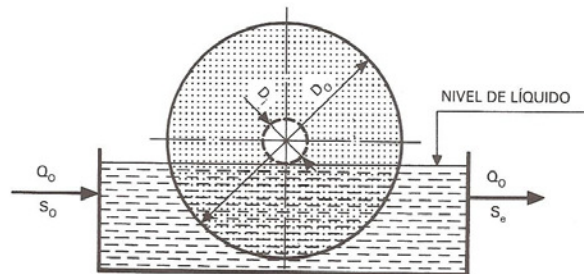
En el caso de lechos bacterianos, se utiliza un soporte en el cual se fijan los microorganismos. La materia orgánica, contenida en el agua residual, se distribuye homogéneamente en todo el relleno, de tal manera que a cada microorganismo le llegue suficiente y no demasiada materia orgánica para llevar a cabo las reacciones enzimáticas que transformarán esa materia orgánica en sustancias sedimentables y en agua depurada. A este relleno se le puede denominar también árido. Puede ser de diversos tipos, desde materiales plásticos a piedras e incluso escoria. Alrededor suyo se forma una finísima capa de microorganismos de 1 mm más o menos. A medida que aumenta el grosor de la capa, los microorganismos más internos son los que captan menor oxígeno y llevan a cabo reacciones anaerobias (anaerobios facultativos), produciendo así gases que facilitan el desprendimiento de la capa exterior, que sigue el flujo hasta el decantador secundario, donde son eliminadas o recirculadas al decantador primario.

Siendo un proceso aerobio, es preciso que haya una cierta aireación en el reactor biológico y, por tanto, es preciso asegurar la presencia de huecos en el relleno a través

de los cuales pueda pasar el agua y el aire a un tiempo, ya sean en contracorriente o en corrientes paralelas. La aireación puede ser natural o forzada según lo establezca el proceso y las condiciones medioambientales.

Una forma especial de lechos bacterianos son los **biodiscos** y los **biocilindros**. Consisten en soportes rotatorios (discos en un caso, cilindros en el otro) parcialmente sumergidos en el agua residual. La rotación permite que, por un lado, se forme una capa de microorganismos y, por otro lado, se oxigene durante el tiempo de rotación fuera del agua. De esta manera, la capa va creciendo hasta llegar a un punto en que se desprende como sólidos sedimentables, que se llevan al decantador secundario.

**Figura 4.8.:** Esquema de un biodisco. [15]



En el caso de los fangos activos, a diferencia de los lechos bacterianos, no existe ningún tipo de soporte donde se localicen los microorganismos sino que éstos se encuentran suspendidos, al igual que la materia orgánica a transformar, en el agua residual. Por ello es muy importante en este método una buena homogeneización ya sea por agitación por medio de palas o por burbujeo a través de difusores. Las sustancias en suspensión coagulan y, de esta manera, sedimentan arrastrando bacterias en un 90-98%.

Según el sistema de aireación y de agitación elegidos, el reactor biológico adoptará una forma u otra, pudiendo ser en forma de canal, de tanque rectangular o circular.

Se puede considerar que el sistema sigue una cinética de tipo MONOD, es decir, con una tasa de eliminación de materia prima como la que sigue:

$$r_o = -\frac{k \cdot C \cdot X}{K + C} \quad (\text{Ec. 4.18.})$$

Siendo,

$r_o$  = tasa de remoción de materia orgánica ( $\text{g/m}^3 \cdot \text{d}$ ).



$k$  = máximo valor de crecimiento ( $d^{-1}$ ).

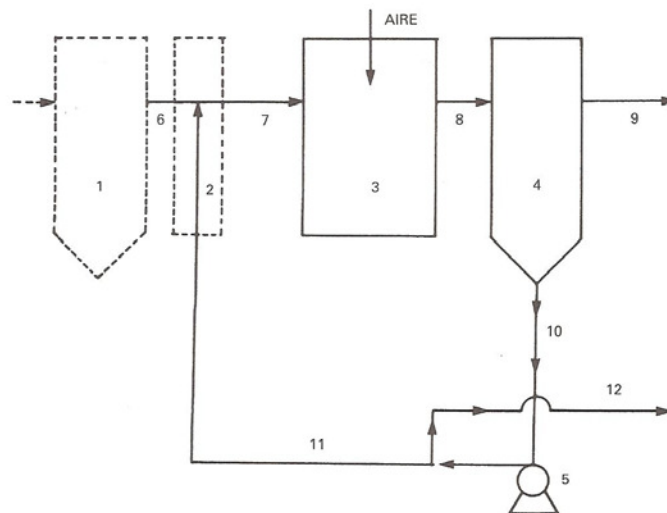
$C$  = concentración orgánica en g ( $DBO_0$ )/ $m^3$ .

$X$  = M.L.S.S.V (Maximal Lactate Steady-State Velocity) en  $g/m^3$ .

$K$  = constante de saturación media, es decir la concentración del sustrato para la cual, la tasa de utilización por unidad de peso de microorganismos es la mitad de la tasa máxima, en masa/volumen.

Un proceso de fangos activos en continuo, generalmente presentará un decantador secundario, encargado de purgar los las aguas clarificadas de los lodos con alto contenido celular. Es conveniente también introducir una recirculación al reactor aerobio con el fin de mantener un número de microorganismos constante y retirar las bacterias muertas o envejecidas.

**Figura 4.9.:** Esquema de un tratamiento aerobio de fangos activos. [16]



#### 4.1.5. Tratamiento de fangos

##### 4.1.5.1. Espesador

El primer paso en el tratamiento de los fangos de una planta es el espesamiento, esta etapa es conveniente debido a la mayor rentabilidad que se puede obtener a la hora de tratar los fangos. Tiene dos fines importantes:

- Concentración de los fangos antes de su conducción a vertedero o la digestión. Se reduce así el volumen de fangos a transportar.

- Mezcla y homogeneización de los fangos. Aunque en este caso, al disponer solamente de un decantador, los fangos llegan bastante homogeneizados.

La misión y el modo de funcionamiento de un espesador es similar a la de un decantador. Se trata de separar las fases sólida y líquida de un agua que contiene materias en suspensión. En el caso del espesador, sin embargo, la concentración de sólidos iniciales en suspensión es muy superior.

Existen dos tipos de espesadores, fundamentalmente, basado cada uno de ellos en un principio distinto. Por un lado, espesadores de gravedad, que consisten en cubas cilíndricas en cuyo interior van colocados dos brazos con rasquetas, movidos por un moto-reductor que acciona el eje central sobre el que se sujetan los brazos. La función de las rasquetas consiste en conducir los sólidos en suspensión hacia la parte central del fondo cónico del espesador, para su evacuación final. Por otro lado, están los espesadores de flotación. En ellos también se pretende separar las fases sólida y líquida, sin embargo, a diferencia del de gravedad, concentra los sólidos en la parte superior. Los equipos de flotación pueden ser muy diversos: de fondo poroso e insuflación de aire, de agitación mecánica, de espumado y desespumado, de producción de burbujas por vía química, etc.

Como es de suponer, la selección de uno u otro sistema dependerá de la densidad de los sólidos que se deseen concentrar.

#### *4.1.5.2. Digestión*

Los fangos producidos en la depuración de las aguas residuales contienen microorganismos, materia orgánica y elementos orgánicos que fermentarán, derivándose algunos problemas. Los objetivos de la digestión son: disminuir las materias volátiles, mineralizar la materia orgánica y concentrar más los lodos.

Existen dos posibles alternativas a la hora de seleccionar un tipo de digestión: digestión aerobia o anaerobia.

Los lodos frescos procedentes del decantador primario, son más susceptibles de una digestión anaerobia. Por el contrario, para los lodos procedentes del decantador secundario, o mezclas de lodos entre el decantador primario y secundario, es preferible la digestión aerobia. La digestión aerobia tiene también la ventaja funcional

de que es muy accesible (a diferencia del tanque de digestión anaerobia, que debe ser cerrado), lo que facilita la limpieza, la nitrificación y el control.

#### 4.1.5.3. Deshidratación de fangos

Con el espesado, previo a la digestión, se logró eliminar el agua libre e intersticial, presente en los fangos. Para eliminar ahora el agua capilar y de adhesión se precisa de un método más eficaz. Para ello se lleva a cabo la deshidratación, que consiste en un proceso que utiliza métodos gravitacionales y fuerzas térmicas al mismo tiempo. Existen distintos métodos, que son los siguientes[17]:

- Eras de secado.
- Lagunas de fangos.
- Filtro de Banda.
- Filtración de Vacío.
- Filtro de Prensa.
- Centrífugas.

La elección del sistema más adecuado dependerá del contenido de materia seca que se desee obtener en el lodo final.

#### 4.1.5.4. Eras de secado

Consiste en una balsa de arena donde se depositan los lodos. El fondo de la balsa está drenado, de tal manera que, por un lado, se pierde agua por drenaje y, por otro lado, se va perdiendo también agua por evaporación. El agua que se drena, se recupera para ser llevada a la línea de agua nuevamente. La pendiente mínima de los drenes debe ser del 1%. El problema fundamental de las eras de secado es la extracción de los lodos una vez que éste haya alcanzado la sequedad deseada.

Los parámetros que más importantes que intervienen en el proceso son:

- Altura del fango incorporado  $H_0$  (cm).
- Concentración de materia seca  $C_0$  (% M.S.).
- Carga de sólido aplicada  $L$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),  $L=C_0 \cdot H_0 \cdot 10^{-1}$ .
- Duración del proceso  $t$ .
- Capacidad media de deshidratación del lecho  $L_d$  ( $\text{kg M.S.}/\text{m}^2$ )·año.

#### 4.1.5.5. *Lagunas de fangos*

Habitualmente se construyen grupos de tres llevándose a cabo un ciclo: 1 año de llenado, 18 meses de secado y 6 meses de reserva. Mediante este ciclo, se llega a contenidos de agua inferiores al 65%. La eliminación del agua se produce gracias a la evaporación y a la evapotranspiración, producida ésta última por la presencia de vegetación en la laguna. La profundidad de la laguna es de entre 2,0 y 2,4 m.

#### 4.1.5.6. *Filtración a vacío*

Antes de la filtración se lleva a cabo un acondicionamiento de los lodos con polímeros. El filtro consiste en un tambor cilíndrico rotativo al cual se le aplica vacío entre la superficie de la cubeta y el elemento filtrante. Se produce, de esta manera, una torta con un bajo contenido de humedad. Las velocidades normales de rotación de los tambores son entre 8-15 r.p.m.

La torta resultante se separa de la tela y se descarga en cintas transportadoras para su eliminación.

#### 4.1.5.7. *Centrifugación*

Este método se basa en la acción centrípeta para la separación sólido-líquido por diferencia de densidades. Existen tres tipos de diseño: cónica, cilíndrica y cilíndrico-cónica.

El proceso consiste en introducir el fango a caudal constante dentro de la cuba giratoria donde se separa en una torta densa que contiene los sólidos y una corriente diluida que contiene sólidos de baja densidad y se devuelve al espesador de fangos.

Para el diseño de las centrifugas deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros: la longitud del cilindro, el diámetro del cilindro, la velocidad de giro, la velocidad diferencial del tornillo, la cantidad del lodo, la concentración del mismo y el tipo del lodo.

#### 4.1.5.8. *Filtro de banda*

Consiste en prensar el lodo mediante dos cintas de tela sin fin que convergen en forma de cuña y son conducidas por rodillos mientras presionan mutuamente.

El lodo se mezcla con un floculante, como por ejemplo, polielectrolito en emulsión, y se condiciona en un mezclador. El proceso de extracción de agua del lodo se lleva a cabo en tres zonas: de filtraje, cuneiforme y de presión. La velocidad de la cinta es regulable entre 1,5 y 9 m/min.

Mediante este método es posible obtener concentraciones de salida óptimas entre 25 y 45 % de materia totalmente seca. La concentración de salida de la materia seca puede regularse modificando dos parámetros: la velocidad de avance de las cintas o bien actuando sobre la tensión de las mismas.

#### *4.1.5.9. Filtro prensa*

Consiste en una serie de bandejas colocadas sobre unas guías para garantizar la alineación. Por medio de sistemas electromecánicos e hidráulicos se someten estas bandejas a presión. Las bandejas llevan unas membranas filtrantes, de tal manera que solamente pasa el agua a través de ellas. El agua pasa a través de huecos practicados en las bandejas, atravesándolas. No así los lodos, que quedan retenidos.



Estación depuradora de aguas residuales en una fábrica de  
levaduras  
Diseño de la depuradora



## 5. Diseño de una depuradora de aguas residuales de una fábrica de levaduras

### 5.1. Caracterización de las aguas

Las aguas residuales producidas en una fábrica de levaduras son las siguientes:

- El mosto agotado de las cubas.
- El agua de refrigeración de los fermentadores.
- El agua de lavado de la levadura antes de la deshidratación.
- El agua producida en los filtros deshidratadores.
- El aguas de limpieza CIP.

El agua de refrigeración, al no estar en contacto con el proceso ('utilitie'), no necesita tratamiento dentro de la EDARI de la fábrica de levadura y puede verterse directamente para su tratamiento en la EDAR de aguas urbanas. Las demás, deberán ser conducidas a la estación depuradora de la planta a fin de reducir su DBO antes de verterla a la red pública de alcantarillado.

Como es de suponer, la contaminación de estas aguas residuales es eminentemente contaminación biológica, es decir, con un alto contenido en DBO, muy biodegradable. Por tener una idea más precisa, se estaría hablando de una DBO cercana a 5000 mg/l. La normativa vigente en la diputación de Valladolid, establece que para verter agua residual industrial a la red pública de alcantarillado para su depuración final, ésta no debe superar una DBO de 1000 mg/l. Se estaría hablando, por tanto de una reducción de 4000 mg/l de DBO, aproximadamente.

Con respecto a la cantidad de carga contaminante, podemos considerar las aguas residuales de las cubas de mosto y la producida en los filtros las de mayor carga. Las aguas de limpieza pueden ser consideradas de baja o media carga contaminante. En lo que se refiere al consumo en las distintas etapas, aunque no exista un dato preciso, se puede considerar como un 50% el agua utilizada para la separación y lavado de las levaduras y aproximadamente la otra mitad el agua residual procedente de las cubas de mosto agotado.

La carga contaminante de tipo biológico (DBO) proviene fundamentalmente del nutriente agotado siendo este entre un 75 y un 80%. Los sulfatos, por otro lado, se encuentran en mayor cantidad en las aguas residuales procedentes de los filtros.

Los sólidos se encuentran prácticamente disueltos y en forma de coloides, su concentración apenas supera los 200 ppm.

Es muy difícil determinar las condiciones exactas a las que se encontrará el agua residual que se va a depurar, pues esto dependerá del caudal y la carga contaminante de cada corriente en cada caso. Sin embargo, sí es posible realizar una estimación. La bibliografía ha facilitado tener una horquilla de concentraciones de cada sustancia de las diferentes procedencias del agua residual.

Se presentan a continuación algunas tablas de caracterización de aguas residuales de industrias de levadura, que han permitido realizar la estimación.

La caracterización de las aguas residuales procedentes de las cubas de mosto agotado se ha obtenido a partir de los datos proporcionados por Trubnick y Rudolfs (Treatment of copressed yeast effluents; Trubnick, Eugene H. y Rudolfs, Willem, 1948, p.111):

**Tabla 5.1.1.:** Composición típica de las aguas de mosto agotado. [18]

Características	Concentración (ppm) o valor
Sólidos totales	10.000-20.000
Sólidos en suspensión	50-200
Sólidos volátiles	7.000-15.000
Nitrógeno total	800-900
Nitrógeno orgánico	500-700
Carbono total	3.800-5.500
Carbono orgánico	3.700-5.500
DBO	2.000-15.000
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	2.000-2.500
Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20-140
pH	4,5-6,5



La composición del agua residual procedente del agua producida en los filtros deshidratadores se obtiene a partir de los datos proporcionados por Nemerow y Dasgupta (aquí la bibliografía se refiere a las características medias de las aguas de un proceso de fermentación, en general).

**Tabla 5.1.2.:** Composición típica de aguas residuales de un proceso de fermentación. [19]

Características	Concentración / Valor medio
DBO (ppm)	4.500
pH	6-7
Sólidos totales (ppm)	10.000
Sólidos precipitables en suspensión (ml/l)	25

Según Ruffer [20] las condiciones de las aguas residuales en el tanque de homogeneización son las siguientes:

**Tabla 5.1.3.:** Composición típica de aguas residuales de tanque de homogeneización de una depuradora de una fábrica de levaduras. [20]

Parámetro	Unidad	Contenidos
Color		Marrón-marrón oscuro
Olor		Después de fermentación
Volumen de residuo	m <sup>3</sup> /t de melaza	10 a 40
Sólidos sedimentables	ml/l	0 a 5
pH		4,8 a 6,5
DQO	mg/l	5.000 a 25.000
Carga específica de DQO	kg/t de melaza	160 a 265
DBO <sub>5</sub>	mg/l	3.500-18.000
Carga específica de DBO <sub>5</sub>	kg/t de melaza	120 a 220
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/l	600 a 1.200
Nitrógeno total	mg/l	500 a 1.200
Fósforo total	mg/l	10 a 50
Potasio	mg/l	100 a 2.000

Finalmente, las características seleccionadas para el diseño de los equipos se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 5.1.4.:** Composiciones de las aguas residuales.

	Mosto agotado	Filtros deshidratadores	Limpieza levadura	Tanque homogeneización
Sólidos en susp.	100	10	10	55
Sólidos volátiles	7000	10	10	3505
Nitrógeno org	500	600	600	550
Nitrógeno inorg	200	200	200	200
Carbono org	4600	4700	4500	4600
Carbono inorg	50	60	40	50
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	700	2250	2250	1475
Fosfatos (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	80	30	20	52,5
DQO	12631,58	8796,99	8796,99	10714,29
DBO	12000	3000	3000	7500
pH	4,5	5	5	4,75
% p/p	50	25	25	-

La relación DBO/DQO que se obtiene en el tanque de homogeneización es de 0,7. Esto quiere decir, según como se vio en uno de los apartados anteriores, que se trata en su mayoría de materia orgánica biodegradable, siendo por ello necesaria la selección de un tratamiento de tipo biológico.

## 5.2. Bases de diseño

### 5.2.1. Capacidad

El caudal de agua residual estará relacionado con la capacidad de la planta. Además, habrá que tener en cuenta que la producción de levadura en la planta no será la misma

para todas las épocas del año. Por tanto, hará falta un diseño que cubra las condiciones más extremas.

Se va a trabajar para una fábrica de levaduras con una producción aproximada de 25.000 toneladas de levadura al año. Según un informe[21], el caudal de agua residual que se produce es de una media de 2100 m<sup>3</sup>/día (87,5 m<sup>3</sup>/hora). El diseño se hará ligeramente superior al anterior, con un factor de seguridad del 12,5%. Es decir, 2400 m<sup>3</sup>/día (100 m<sup>3</sup>/hora).

### 5.2.2. Límites de vertido (VLE)

En el anexo III del «Reglamento del servicio municipal de abastecimiento de agua potable y saneamiento», publicado por el ayuntamiento de Valladolid, se presentan las condiciones de vertido a la red de alcantarillado que deberán ser cumplidas por la estación depuradora de la fábrica de levaduras.

El reglamento, además de exponer qué sustancias quedan prohibidas de ser vertidas, presenta una tabla con los límites de vertido. Esa tabla es la siguiente:

**Tabla 5.2.1.:** Límites de vertido, «Reglamento del servicio municipal de abastecimiento de agua potable y saneamiento» (Valladolid). [22]

Parámetro	mg/l
Aceites y grasas	150
Aluminio	20
Arsénico	1
Bario	10
Boro	3
Cadmio	0,5
Cianuros	5
Cinc	10
Cloruros	1500
Cobre	2
Color a dilución de 1/40	Inapreciable
Conductividad	5000
Cromo Total	5
Cromo VI	0,5
DBO <sub>5</sub>	1000
DQO	1500
Detergentes	4

Estaño	2
Fenoles totales	2
Fluoruros	10
Fósforo total	40
Hierro	10
Manganeso	2
Mercurio	0,1
Níquel	5
Nitrógeno total	100
pH	6-10
Plomo	1
Selenio	1
Sólidos en suspensión	500
Sólidos gruesos	Ausentes
Sulfatos	1500
Sulfuros	5
T (°C)	60
Toxicidad	25

Además de los límites de la tabla, en el reglamento se establece como requisito el cálculo del factor K y que este se encuentre en un valor inferior a 3 [22].

$$K = 0,35 \frac{S_s}{168} + 0,4 \frac{DQO}{400} + 0,15 \frac{N_{Total}}{32} + 0,1 \frac{P_{Total}}{14} \quad (\text{Ec. 5.2.1.})$$

La suma de las fracciones de concentración real/concentración límite relativa a los elementos tóxicos arsénico, cadmio, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio y cinc no superará el valor de 5.

En caso de que el efluente no satisfaga todas estas condiciones y limitaciones, el reglamento establece la obligatoriedad de construir todas aquellas instalaciones de tratamiento que sean necesarias para que se cumplan los límites establecidos.

### 5.2.3. Régimen de funcionamiento

La EDARI operará con un régimen de funcionamiento de 24 h/día y 335 días/año. Los días vacacionales sumarán un total de 30 días, durante los cuales la planta de

producción estará parada, así como el mantenimiento. En total, por tanto, la planta operará 8.040 h/año.

#### 5.2.4. Clima

Un parámetro importante en los procesos biológicos es la temperatura, ya que, junto al pH, tendrá un papel importante en el crecimiento y eficacia de los microorganismos. Así pues, un estudio del clima en el que va a estar situado el proceso biológico ayudará a optimizar el control de los parámetros de operación.

La estación depuradora se diseña para una fábrica de levaduras situada en Valladolid.

**Tabla 5.2.2.:** Parámetros climáticos promedio de Valladolid [23].

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma y	Jun	Jul	Ag o	Se p	Oct	No v	Dic	Anu al
Temperatura máxima absoluta (°C)	17.0	23.6	25.0	29.6	34.4	38.8	40.2	39.5	38.2	30.2	24.0	21.4	<b>40.2</b>
Temperatura máxima media (°C)	8.2	11.2	15.2	16.9	21.0	27.0	30.7	30.1	25.6	18.9	12.4	8.6	<b>18.8</b>
Temperatura media (°C)	4.2	5.9	9.0	10.7	14.5	19.3	22.3	22.1	18.5	13.2	7.9	5.0	<b>12.7</b>
Temperatura mínima media (°C)	0.2	0.7	2.8	4.6	7.9	11.6	14.0	14.1	11.3	7.6	3.5	1.3	<b>6.6</b>
Temperatura mínima absoluta (°C)	-11.0	-11.5	-10.2	-6.0	-1.7	2.6	3.5	3.6	0.0	-3.4	-6.8	-10.8	<b>-11.5</b>
Precipitación total (mm)	40	27	22	46	49	29	13	16	31	55	52	53	<b>433</b>
Días de precipitaciones (≥ 1.0 mm)	6.3	5.2	4.8	7.8	7.9	4.5	2.1	2.3	4.3	7.5	7.1	7.7	<b>67.7</b>
Días de nevadas (≥ 1 mm)	3.8	2.1	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0.7	1.4	<b>9.4</b>
Horas de sol	101	147	215	232	272	322	363	334	254	182	117	89	<b>2624</b>
Humedad relativa (%)	83	72	62	62	60	52	45	48	56	70	79	84	<b>64</b>
<i>Fuente nº1: Agencia Estatal de Meteorología (normals 1981–2010)</i>													
<i>Fuente nº2: Agencia Estatal de Meteorología (extremes only 1938–2015)</i>													

Por tanto, se dimensionará la línea de tratamiento teniendo en cuenta una temperatura media de 12,7°C.

### 5.3. Selección de alternativas

En el apartado anterior se analizaron las características del agua a depurar. En el apartado 1.2 se estudiaron las distintas alternativas existentes para cada tratamiento de la depuración. Llegado a este punto, se trata de seleccionar las alternativas que se consideren mejores o más adecuadas para el proceso de que se trata. La selección tiene un objetivo bien definido: obtener unas aguas con un nivel de depuración que cumpla la normativa exigida por la legislación. No obstante, conviene no olvidar otros factores importantes: el coste, el impacto ambiental...

Evidentemente, la selección de una u otra alternativa no responde a unas leyes establecidas sino que depende del proyectista y, por tanto, es muy probable no hallar dos depuradoras iguales, aun siendo ambas de una misma industria.

Como se ha estudiado en la caracterización de las aguas, estas son de una elevada biodegradabilidad ( $DBO/DQO = 0,7$ ). Será necesario por tanto, sin falta, un tratamiento biológico, que será el más importante.

#### 5.3.1. Pretratamiento

Se dispondrá de un **tanque de homogeneización y de almacenamiento**. Su función es, por un lado, permitir el control de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH, nutrientes) para que sean los adecuados a la entrada del reactor anaerobio y, por otro lado, servir de 'buffer' a toda la estación depuradora, de tal modo, que se pueda llevar a cabo una operación en continuo. La función del tanque de homogeneización logra una mayor estabilidad y eficacia, cosa que permite reducir el tamaño de los equipos.

El tanque deberá constar de dosificadores, que permitan la adición de reactivos ácido/base y de nutrientes.

Como medida de seguridad, el tanque constará de un controlador de nivel que impida superar un límite máximo actuando sobre las válvulas de entrada de agua residual al tanque.

### 5.3.2. Tratamiento primario

En una estación depuradora donde las aguas se vierten posteriormente en terreno para riego o en los que se utiliza un sistema biológico de lechos bacterianos, la decantación primaria es siempre obligatoria. Sin embargo, en los otros casos, la supresión de la decantación primaria conlleva una serie de ventajas, así como unas cuantas desventajas[12].

Ventajas:

1. Mayor simplicidad de operación de la planta.
2. Homogeneidad en la calidad del fango.
3. Remoción del fango en un solo punto.
4. Eliminación de malos olores al entrar el agua directamente al tanque de aireación, si las aguas llegan en condiciones sépticas.
5. Mejoría de la sedimentabilidad del fango activado.
6. Aumento de la capacidad de absorción de puntas de carga, debido al mayor contenido de fangos en el tanque de activación.
7. Puede evitarse el tratamiento de lodo en la planta, caso de lagunajes, o bien su transporte a un punto exterior de tratamiento o eliminación.
8. Mejora los sistemas con largos períodos de aireación, con digestión aerobia principalmente, en climas templados y cálidos.
9. El almacenamiento de lodos en el tanque de aireación no produce olores hasta su extracción.
10. Ahorro económico de un 7-10% en primera inversión, y de un 5-7% en mantenimiento y explotación.

Inconvenientes:

1. Mayor consumo energético en el proceso biológico por fangos activos.
2. Menor producción de gas en la planta.

3. Peligro de formación de sedimentaciones en el depósito de aireación, si no hay una instalación de desarenado bien dimensionada, posibilidad de formación de fangos flotantes en el decantador secundario, si no hay una buena eliminación de grasas a la entrada de la planta y, quizás, una capacidad de espesamiento más reducida del fango mezcla en algunos casos.
4. Se elimina un elemento de regulación hidráulica y de carga en la depuradora, frente a caudales planta y caudales de lluvia en los sistemas unitarios.
5. Se puede reducir la capacidad de espesado de los lodos que se llevan posteriormente a digestión.

Se considera en este caso que los inconvenientes no son tan importantes y, consecuentemente, se descarta la decantación primaria.

### 5.3.3. Tratamiento secundario

Debido a la alta carga de materia biodegradable en estas aguas residuales, se procederá a un tratamiento biológico con dos etapas: en primer lugar un tratamiento anaerobio y, posteriormente, un tratamiento aerobio.

Las alternativas de reactores anaerobios son muy variadas. En la tabla siguiente se muestran las principales con las correspondientes características del vertido.

**Tabla 5.3.1.:** Tipos de reactores anaerobios [24].

Tipo de digestor	Bv (kg/m <sup>3</sup> d)	DQO soluble (kg/m <sup>3</sup> )	Sólidos suspendidos (kg/m <sup>3</sup> )
CSTR	6 ST	0 – 20	25 – 100
Flujo pistón	0,5 – 6 ST	0 – 20	30 – 120
Contacto anaerobio	2 – 10 DQO	2 – 100	0,5 – 20
UASB	0,5 – 40 DQO	0,5 – 20	0 – 5
Filtro Anaerobio	2 – 20 DQO	0,5 – 50	0 – 10
Reactor Híbrido	1 – 20 DQO	0,5 – 20	0 – 5
Lecho fluidizado	5 – 50 DQO	0,5 – 50	0 – 5



Reactor anaerobio con tabiques	2 – 10 DQO	0,5 – 50	0 – 10
Digestor en fase semi-sólida	10 – 30 ST	0 – 50	100 – 300

El contacto anaerobio y el UASB son las dos alternativas que mejor se adecúan a las características del vertido de una fábrica de levaduras. Cada una de ellas tiene una serie de ventajas e inconvenientes que se muestran en la siguiente tabla.

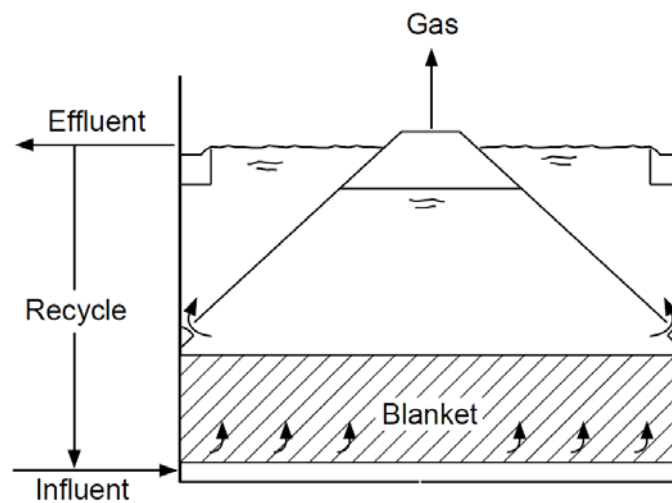
**Tabla 5.3.2.:** Comparación entre reactores UASB y reactor de contacto anaerobio [24].

	Ventajas	Inconvenientes
<b>Contacto Anaerobio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elevado número de instalaciones (mayor experiencia).</li> <li>– Facilidad de arranque.</li> <li>– No necesita material de soporte.</li> <li>– Acepta fango aerobio para su digestión.</li> <li>– No tiene limitación en el tratamiento de aguas por DQO y SST.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necesita un sistema externo de separación de fangos.</li> <li>– Necesita recirculación del fango.</li> <li>– Precisa de sistema de agitación.</li> <li>– Baja velocidad de carga orgánica aplicable.</li> <li>– Volúmenes grandes de instalación.</li> </ul>
<b>UASB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bajo tiempo de retención hidráulico.</li> <li>– Bajo requerimiento energético.</li> <li>– No necesita material soporte ni separador externo de fangos.</li> <li>– Experiencia relativamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proceso de granulación difícil de controlar y mal conocido.</li> <li>– La granulación depende del agua residual a tratar.</li> <li>– Sensible a sobrecargas orgánicas.</li> <li>– Las aguas no han de tener</li> </ul>

	amplia. – Construcción simple y modular.	y	– sólidos suspendidos. Óptimo diseño del separador trifásico.
--	---	---	--

Como reactor anaerobio se utilizará un reactor de tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Bed*). Este tipo de reactor tiene múltiples ventajas y cada vez es más utilizado en industrias con aguas residuales de alta carga biodegradable.

Figura 5.3.1.: Esquema de un reactor UASB [25].



La elección del reactor aerobio se hará estudiando las alternativas presentadas en la tabla siguiente:

Tabla 5.3.3.: Tipos de reactores aerobios [16].

Tipo de proceso	Convencional	Mezcla completa	Aireación graduada	Alimentación escalonada	Aireación prolongada	Contacto	Estabilización
$\theta$ (días)	4 – 10	4 – 10	0,2 – 1	4 – 10	>30	3 – 10	
THR (h)	4 – 8	4 – 8	4 – 8	4 – 8	16 – 24	3 – 6	1 – 3
kg DBO/kg VSS·d	0,2 – 0,4	0,2 – 0,6	1,5 – 5	0,2 – 0,4	0,05 – 0,15	0,5 – 2	0,2 – 0,6
kg DBO/m <sup>3</sup> ·d	0,32 – 0,64	0,4 – 0,9	1,2 – 2,4	0,64 – 0,96	0,16 – 0,3	1,5 – 3	0,5 – 1,2
VSS (g/l)	1,5 – 4	2 – 5	0,5 –	2 – 3,5	2 – 6	1 – 3	4 – 10

			0,9				
O.C. kg	0,8 – 1,2	0,8 –	0,4 –	0,8 – 1,2	1,4 – 1,6	0,4 –	0,8 – 1,1
O <sub>2</sub> /kg		1,2	0,6			0,6	
DBO							
Q <sub>i</sub> /Q	0,25 –	0,25 –	0,1 –	0,25 –	1 – 3	0,25 –	0,5 – 1
	0,75	1	0,3	0,75		1	
% Reducción DBO	92	92	75	92	90	92	
Exceso fangos kg/kg DBO	0,4 – 0,6	0,4 –	0,8 –	0,4 – 0,6	0,15 –	0,4 –	
		0,6	1,2		0,3	0,6	

Se elegirá un reactor de **fangos activos de mezcla completa**.

Junto al tratamiento aerobio, se llevará a cabo un **desnitrificación por inyección de metano**, para una mayor purificación del agua.

Tras esta etapa de reacción aerobia con desnitrificación, será necesaria una operación de separación, que elimine los lodos que se hayan formado. Esto se llevará a cabo en un **decantador final**.

#### 5.3.4. Tratamiento de fangos

Existen varios posibles tratamientos de fangos según la aplicación que se les quiera dar en cada planta.

En este caso, se desea obtener fangos secos que se puedan almacenar en contenedores para su posterior utilización o eliminación por incineración.

Para ello se ha seleccionado un método empleado en muchas depuradoras de tipo industrial. Se trata de la desecación mediante un **filtro de bandas** mezclando los fangos previamente con **polielectrolito en emulsión**[24], como agente floculante.



## 5.4. Balances

### 5.4.1. Balance de materia

Se ha realizado el balance de materia para toda la línea de aguas. Se trata, por supuesto, de valores estimados a partir de los datos recogidos en la bibliografía y los caudales son orientativos para el diseño de las tuberías, volúmenes, etc.

ppm	ooA	ooB	ooC	o1	o2	o3	o4
DE	Mosto	Deshid.	Limpieza	V-101	P-105	C-106	R-107
HASTA	V-101	V-101	V-101	P-105	C-106	R-107	M-108
SSS	100,000	10,000	10,000	55,000	55,000	55,000	27,500
SSV	7000,000	10,000	10,000	3505,000	3505,000	3505,000	2601,250
NO	500,000	600,000	600,000	550,000	550,000	550,000	330,000
NI	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	120,000
CO	4600,000	4700,000	4500,000	4600,000	4600,000	4600,000	2760,000
CI	50,000	60,000	40,000	50,000	50,000	50,000	40,000
SO <sub>4</sub>	700,000	2250,000	2250,000	1475,000	1475,000	1475,000	147,500
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	80,000	20,000	20,000	50,000	50,000	50,000	40,000
DBO	12000,000	3000,000	3000,000	7500,000	7500,000	7500,000	750,000
DQO	12631,579	8796,992	8796,992	10714,286	10714,286	10714,286	1607,140

ppm	o5	o6	o7	o8	o9	10	30
DE	M-108	R-109	P-113	D-114	D-114	T	T
HASTA	R-109	P-113	D-114	Vertido	T	R-109	P-301
SSS	27,500	15,000	15,000	1,500	30,747	30,747	30,747
SSV	2601,250	2088,000	2088,000	417,600	3833,995	3833,995	3833,995
NO	330,000	198,000	198,000	39,600	363,569	363,569	363,569
NI	120,000	72,000	72,000	14,400	132,207	132,207	132,207
CO	2760,000	276,000	276,000	55,200	506,792	506,792	506,792
CI	40,000	28,000	28,000	5,600	51,414	51,414	51,414
SO <sub>4</sub>	147,500	118,000	118,000	70,800	115,857	115,857	115,857
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40,000	32,000	32,000	19,200	31,419	31,419	31,419
DBO	750,000	37,500	37,500	26,250	28,809	28,809	28,809
DQO	1607,140	160,710	160,710	112,497	123,465	123,465	123,465

kg/h	ooA	ooB	ooC	o1	o2	o3	o4
DE	Mosto	Deshid.	Limpieza	V-101	P-105	C-106	R-107
HASTA	V-101	V-101	V-101	P-105	C-106	R-107	M-108
SSS	5,000	0,250	0,250	5,500	5,500	5,500	2,739
SSV	350,000	0,250	0,250	350,500	350,500	350,500	259,056
NO	25,000	15,000	15,000	55,000	55,000	55,000	32,864
NI	10,000	5,000	5,000	20,000	20,000	20,000	11,951
CO	230,000	117,500	112,500	460,000	460,000	460,000	274,866
CI	2,500	1,500	1,000	5,000	5,000	5,000	3,984
SO <sub>4</sub>	35,000	56,250	56,250	147,500	147,500	147,500	14,689
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,000	0,500	0,500	5,000	5,000	5,000	3,984
DBO	600,000	75,000	75,000	750,000	750,000	750,000	74,692
DQO	631,579	219,925	219,925	1071,429	1071,429	1071,429	160,053

kg/h	o5	o6	o7	o8	o9	10	30
DE	M-108	R-109	P-113	D-114	D-114	T	T
HASTA	R-109	P-113	D-114	Vertido	T	R-109	P-301
SSS	2,739	1,494	1,494	0,141	1,353	1,181	0,172
SSV	259,056	207,942	207,942	39,246	168,696	147,225	21,470
NO	32,864	19,719	19,719	3,722	15,997	13,961	2,036
NI	11,951	7,170	7,170	1,353	5,817	5,077	0,740
CO	274,866	27,487	27,487	5,188	22,299	19,461	2,838
CI	3,984	2,788	2,788	0,526	2,262	1,974	0,288
SO <sub>4</sub>	14,689	11,752	11,752	6,654	5,098	4,449	0,649
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,984	3,187	3,187	1,804	1,382	1,206	0,176
DBO	74,692	3,735	3,735	2,467	1,268	1,106	0,161
DQO	160,053	16,005	16,005	10,572	5,432	4,741	0,691

m <sup>3</sup> /h	ooA	ooB	ooC	o1	o2	o3	o4	o5
DE	Mosto	Deshid.	Limp.	V-101	P-105	C-106	R-107	M-108
HASTA	V-101	V-101	V-101	P-105	C-106	R-107	M-108	R-109
Total	50	25	25,00	100,00	100	100	99,589	99,589

m <sup>3</sup> /h	o6	o7	o8	o9	10
DE	R-109	P-113	D-114	D-114	T
HASTA	P-113	D-114	Vertido	T	R-109
Total	99,589	99,589	93,98	44	38,4

#### 5.4.2. Balance de energía

Al igual que en el balance de materia, se ha hecho el balance de energía para toda la línea de fangos.

kJ/h	ooA	ooB	ooC	o1	o2	o3
DESDE	Mosto	Deshid.	Limpieza	V-101	P-105	C-106
HASTA	V-101	V-101	V-101	P-105	C-106	R-107
T (°C)	12,70	12,70	12,70	12,70	12,70	30,00
cp (kJ/kgK)	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,18
m (kg/h)	50000,00	25000,00	25000,00	100000,00	100000,00	100000,00
P (kJ/h)	59899867,5	29949933,7	29949933,7	119799735	119799735	126565125
P (kJ/s)	16638,85	8319,43	8319,43	33277,70	33277,70	35156,98

kJ/h	04	05	06	07	08
DESDE	R-107	M-108	R-109	P-113	D-114
HASTA	M-108	R-109	P-113	D-114	Vertido
T (°C)	30,00	30,00	12,70	12,70	12,70
cp (kJ/kgK)	4,18	4,18	4,19	4,19	4,19
m (kg/h)	99589,00	99589,00	99589,00	99589,00	93980,00
P (kJ/h)	126044942,34	126044942,34	119307358,09	119307358,09	112587790,95
P (kJ/s)	35012,48	35012,48	33140,93	33140,93	31274,39

kJ/h	09	10
DESDE	D-114	T
HASTA	T	R-109
T (°C)	12,70	12,70
cp (kJ/kgK)	4,20	4,20
m (kg/h)	44220,00	38592,00
P (kJ/h)	53089205,40	46332397,44
P (kJ/s)	14747,00	12870,11

## 5.5. Ingeniería de diseño

### 5.5.1. Diagrama de bloques

Véase en el anexo II.1.

### 5.5.2. Diagrama de proceso

Véase en el anexo II.2.

### 5.5.3. Descripción del proceso

#### 5.5.3.1. Almacenamiento y homogeneización

Las aguas residuales de la fábrica de levaduras se recogen en un tanque de almacenamiento (V-101), donde reciben un tratamiento de homogeneización y condicionamiento de algunos parámetros para las siguientes etapas de purificación. El tanque constará de un agitador, que facilita la mezcla y, por tanto, la

homogeneización. Además, constará de placas deflectoras, que harán más efectiva la mezcla de las aguas.

Como medida de seguridad de la instalación, el tanque dispondrá de un controlador de nivel. Superado un determinado nivel en el tanque, se cerrarán las válvulas ON/OFF de entrada al tanque de almacenamiento.

Otro parámetro a controlar en el tanque de almacenamiento, y que tendrá gran importancia en el tratamiento anaerobio, es el pH. Teniendo en cuenta que para la etapa de depuración biológica los microorganismos actúan óptimamente a un pH cercano al neutro y que las aguas residuales que llegan a la planta pueden oscilar de pH 4,5 a 5,5; será necesario alcalinizar. Esto se hará mediante la dosificación de hidróxido de sodio.

Para determinar la cantidad de las dosis de NaOH al 50%, se hará periódicamente un análisis en laboratorio de una muestra de agua del homogeneizador. Además, de un análisis de pH se hará el análisis de la cantidad de nutrientes para saber también la cantidad de nutrientes a dosificar antes del reactor anaerobio. Por ello, el tanque constará de una válvula manual para la toma de muestras. No es lo habitual en este tipo de instalaciones la utilización de potenciómetros debido a la fragilidad de los mismos. No hay duda de que lo más práctico sería instalar un control automático de pH y de la concentración de nutrientes, no obstante, el fácil deterioro de los electrodos hace que sea más empleado el método de análisis periódico en el laboratorio. Hecho el análisis, la dosificación del reactivo se hará también de forma manual desde un tanque de almacenamiento (V-102). Este proceso debe hacerse de tal forma que el pH de entrada al reactor UASB oscile siempre entre unos valores de 6,5 y 7,2.

Además del pH, como se ha dicho, será necesario dosificar nutrientes para los microorganismos que depurarán las aguas en el tratamiento biológico. Así pues, según la cantidad establecida en el laboratorio, se añadirá de forma manual o programada mediante un temporizador las cantidades oportunas de  $\text{CINH}_4$  del 25% y  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  del 80% (V-103 y V-104).

Para la homogeneización de todos estos componentes será necesario un cierto tiempo de residencia del cual se hablará en el apartado 5.6.6.2.



Finalmente, será necesario fijar también la temperatura, pues es otro factor importante para la depuración biológica. Esto se hará en un intercambiador de calor de carcasa y tubos (C-105). El flujo del agua residual será a través de los tubos. El agua de calefacción atravesará la carcasa y será recirculado después de recalentarse mediante la combustión del biogás producido en la planta. A fin de mantener la temperatura constante hasta la entrada al biorreactor, se traceará la línea o<sub>3</sub> entre C-105 y R-109.

#### 5.5.3.2. Tratamiento anaerobio

Como se ha visto en el apartado 5.3.3., el tratamiento anaerobio se hará por medio de un reactor UASB (R-109). Como su nombre indica, el flujo será ascendente, por tanto la entrada se encontrará en la parte inferior y se hará por medio de unos difusores.

El reactor UASB dispondrá de una sonda de temperatura, que enviará una señal al controlador que actuará sobre el flujo de agua de calentamiento que entrará al intercambiador de calor de carcasa y tubos (C-105).

Además, dispondrá de un indicador de presión y de un aliviadero de presión, por seguridad.

El reactor UASB dispondrá de dos salidas. Por un lado, saldrá el agua purificada y, por otro lado saldrá el biogás que se haya formado durante las reacciones enzimáticas. Este biogás se conducirá a una planta de tratamiento especial para su valorización y aprovechamiento dentro de la estación depuradora. Mediante un motor de cogeneración (M-204), el biogás producirá energía eléctrica y, además, calentará del agua de calentamiento del intercambiador de calor (C-105).

#### 5.5.3.3. Tratamiento aerobio

El agua de salida del reactor UASB se conducirá a un reactor aerobio de mezcla completa. Este tanque dispondrá de un agitador. El agua procedente del tratamiento anaerobio puede requerir una nueva alimentación de nutrientes, pues estos pueden haberse agotado. Se dispondrá, por tanto, de un nuevo mezclador a la entrada del reactor aerobio, donde se introduzcan los nutrientes. Para conocer la cantidad de nutrientes necesaria se requerirá un nuevo análisis en laboratorio.

Además, para llevar a cabo la desnitrificación, se dispondrá de un corriente de metano de entrada al reactor aerobio.

Dentro del tanque se dispondrán unos difusores por medio de los cuales se introducirá el aire necesario para la aireación.

Tras el reactor aerobio de mezcla completa se dispondrá de un decantador final, que permite separar los lodos formados durante las reacciones aerobias y el agua purificada. Esta agua será la que se vierta al alcantarillado. Los fangos serán recirculados o bien conducidos al tratamiento de fangos.

#### 5.5.3.4. Tratamiento de fangos

Los fangos precipitados en el decantador final (D-116), se dividirán en dos corrientes: una de recirculación al tanque de aireación, para el sostenimiento celular, y otra que se dirigirá al tratamiento de fangos.

Este tratamiento consistirá, en primer lugar, en el bombeo, mediante una bomba deshidratadora (P-301) hasta un mezclador (M-302). En este equipo se mezclarán con una disolución de polielectrolito en emulsión, que facilitará la separación de la fase líquida en el filtro de bandas (M-303). Una vez recogidos los fangos secos del filtro de bandas, serán almacenados en contenedores para distribuirlos en sus posibles utilidades.

El polielectrolito en emulsión se almacena en un tanque, desde el cual se bombea a un tanque en agitación donde se mezcla con agua de red. La proporción polielectrolito-agua se estipula y es regulada mediante un controlador que emite una señal sobre una válvula de control de flujo. Desde el tanque de agitación (V-305), se bombea la disolución de polielectrolito mediante una bomba deshidratadora (P-304) hasta el mezclador con los fangos.

#### 5.5.4. Diagrama P&I

Ver en el anexo II.3.

## 5.6. Diseño de equipos

### 5.6.1. Diseño de tuberías

El diseño de las tuberías de la planta se ha realizado de la manera siguiente.

En primer lugar, se han considerado los caudales volumétricos máximos (de diseño) que se han calculado en el balance de materia. Juntamente con estos, se ha estimado un valor de la velocidad lineal a partir de los valores típicos para fluidos de distintas densidades. Se presentan en la tabla siguiente:

**Tabla 5.6.1.:** Valores típicos de velocidades en tuberías [26].

Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Velocidad, m/s
1600	2,4
800	3
160	4,9
16	9,4
0,16	18
0,016	34

A partir del caudal y de la velocidad se ha calculado el área de la sección de la tubería y, a partir de este, el diámetro de la tubería.

$$A = \frac{Q}{u} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{Ec. 5.6.1.})$$

A partir del diámetro calculado se ha seleccionado un diámetro nominal, presentes en la bibliografía.

Una vez elegido el diámetro nominal y teniendo un nuevo diámetro interno de la tubería, se ha recalculado la velocidad lineal del fluido en la tubería.

La lista de las líneas del proceso, con los correspondientes datos de diseño de las tuberías se muestran en el anexo.

### 5.6.2. Tanque de homogeneización (V-101)

#### 5.6.2.1. Diseño del tanque

Para llevar a cabo una correcta homogeneización en el tanque de las tres corrientes de agua residual y de los compuestos de ajuste de parámetros, se necesitará establecer un tiempo de residencia adecuado.

Según lo proporcionado por la bibliografía\*, se ha seleccionado un tiempo de residencia de una hora. Conociendo el caudal de diseño puede calcularse el volumen del reactor.

$$V = 100 \frac{m^3}{h} \cdot 1h = 100 m^3 \quad (\text{Ec. 5.6.2.})$$

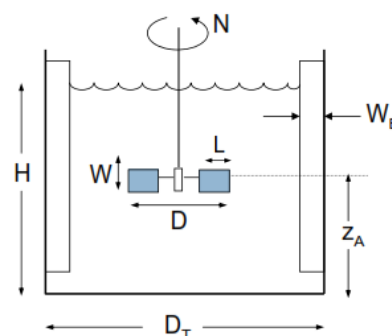
Utilizando las dimensiones estándar de un tanque de agitación mostradas en la tabla, pueden establecerse las dimensiones de todos los elementos del tanque.

**Tabla 5.6.1.:** Dimensiones estándar de un tanque de agitación.

Relación	Valor
$D/D_T$	1/3
$H/D_T$	1
$W_B/D_T$	1/12
$z_A/D$	1
$W/D$	1/5
$L/D$	1/4

Siendo,

**Figura 5.6.1.:** Esquema de un tanque de agitación.



En primer lugar, se determinan la altura de líquido y el diámetro del tanque:

$$100 m^3 = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot H \quad (\text{Ec. 5.6.3.})$$

Conociendo la relación  $D_T/H=1$ , tendremos que  $D_T = H = 5,03 m$ .

La altura del tanque será un 20% superior al de líquido:  $H_T = 6,04 m$ .

Teniendo estas dos dimensiones, calculamos el resto, que se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 5.6.2.:** Dimensiones del tanque V-101.

Tanque		Agitador	
$D_T$	5,03 m	W	0,34 m
$H_T$	6,04 m	D	1,68 m
H	5,03 m	$z_A$	1,68 m
$W_B$ (en caso de baffles)	0,42 m	L	0,42 m

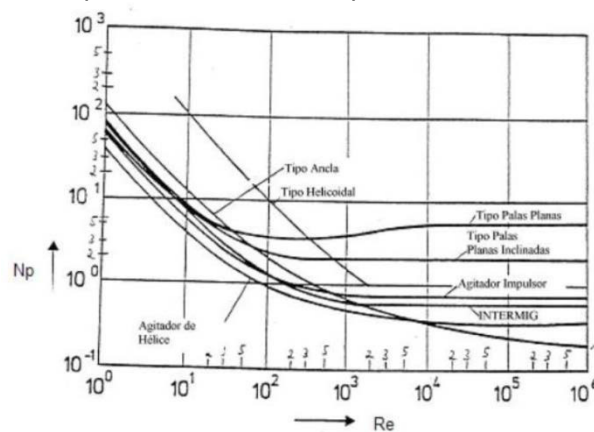
El agitador seleccionado es un agitador de palas planas que permite un flujo radial y tangencial en el tanque. Una velocidad de agitación adecuada para este tipo de turbina es de 20 rpm ( $0,33 \text{ s}^{-1}$ ). El tanque diseñado no contará con placas deflectoras o *baffles*.

Ahora se calcula la potencia que aplicará el agitador sobre el fluido. Esto permitirá estimar la potencia eléctrica que será necesario gastar. El número de Reynolds permitirá saber el régimen e flujo de que se trata, si laminar ( $Re < 20$ ) o turbulento ( $Re > 10000$ ).

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,33 \cdot 1,68^2}{0,001} = 931392 \quad (\text{Ec. 5.6.4.})$$

Se determina el número de potencia mediante la siguiente gráfica utilizando la curva correspondiente a palas planas.

**Figura 5.6.2.:** Número de potencia frente a Reynolds.



A partir del número de potencia ( $N_p = 5,5$ ) calculamos la potencia que se necesita aportar para la agitación.

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5} \quad (\text{Ec. 5.6.5.})$$

Con lo que la potencia será  $P = 2645,15 \text{ W}$ . Considerando que el sistema de agitación tiene una eficacia del 70%, la potencia que será necesaria aportar será:  $P_T = 3438,7 \text{ W}$ .

Al tratarse de un tanque a presión atmosférica, la presión de diseño será de 3,5 barg.

El tanque será cubierto con el fin de evitar posibles malos olores que puedan desprenderse a causa de los sulfatos.

El espesor de corrosión seleccionado será de 3mm.

La temperatura máxima de diseño será de 50°C y la mínima de 0°C. Con el fin de evitar la congelación del agua residual durante el invierno, el tanque se recubrirá de un sistema de *winterizing*.

El material seleccionado para el tanque es acero al carbono (SA515).

Para más detalles véase la hoja de especificación adjunta en el anexo.

#### 5.6.2.2. Adición de reactivos

Como se ha dicho, además de homogeneizar las aguas residuales que llegan de la fábrica de levaduras, en el tanque V-101 se van a condicionar las aguas para la depuración biológica en el reactor anaerobio. El tanque constará, por tanto, de tres entradas (*nozzles*) que permitirán la adición de tres reactivos: el NaOH al 50% para el ajuste de pH,  $\text{CIN}_4$  del 25% como fuente de nitrógeno y  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  del 80% como fuente de fósforo. Estos dos últimos componentes son nutrientes que necesitan las células para llevar a cabo la degradación biológica de los agentes contaminantes del agua. La relación másica con respecto a la DBO del agua en el caso del reactor anaerobio es la siguiente:

$$DBO:N:P = 100:0,5:0,1$$

Como ya se ha dicho, el acondicionamiento de las aguas se hará de forma manual a causa de la dificultad de instalar potenciómetros. Por ello, el tanque también constará de una válvula manual de la cual se puedan extraer las muestras que van a ser analizadas en el laboratorio para la determinación de la cantidad de reactivos a añadir.

### 5.6.3. Bomba centrífuga (P-105 A/B)

#### 5.6.3.1. Diferenciales de presión

La bomba centrífuga P-105 tiene como misión transportar el líquido desde el tanque de homogeneización hasta el reactor UASB. Deberá superar los diferenciales de presión originados por la fricción en la línea y por los elementos situados en medio del trayecto. El reactor de descarga UASB trabaja a presión atmosférica, lo mismo que el tanque de homogeneización, que está abierto a la atmósfera por una válvula de descompresión. La presión de descarga de la tubería al reactor deberá ser ligeramente superior a la presión de trabajo del reactor. Se seleccionará, por tanto, una presión de descarga de 1 barg. La bomba también deberá superar la pérdida de presión ocasionada por el intercambiador de calor C-106. Esta pérdida se puede estimar en 0,3 barg (3,06 m.c.a.).

El fluido que conduce la bomba se desplaza a una velocidad lineal de 2,15 m/s. El diámetro interno de la tubería es de 128,19 mm.

Se calcula el Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 2,15 \cdot 0,128}{0,001} = 275200 \quad (\text{Ec. 5.6.6.})$$

Para calcular la pérdida de carga que debe superar la bomba se va a utilizar la ecuación de Bernoulli:

$$H = \left( \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \right)_2 - \left( \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \right)_1 + h_p + h_c \quad (\text{Ec. 5.6.7.})$$

La expresión  $h_p$  corresponde a las pérdidas de fricción y misceláneas:

$$h_p = h_f + \Sigma h_m = \frac{v^2}{2 \cdot g} \left( \frac{f \cdot l}{D} + \Sigma K \right) \quad (\text{Ec. 5.6.8.})$$

Siendo,

- 1 la entrada a la bomba y 2 la salida de bomba.
- $h_c$ , la carga del intercambiador C-106.
- $f$ , el factor de fricción.
- $l$ , la longitud aproximada de tubería.
- $K$ , es la pérdida de presión en los accesorios de las tuberías en número de cargas de velocidad.

- $D$ , el diámetro interno de la tubería.
- $g$ , la gravedad.
- $v$ , velocidad lineal del fluido.
- $z$ , altura con respecto al suelo.

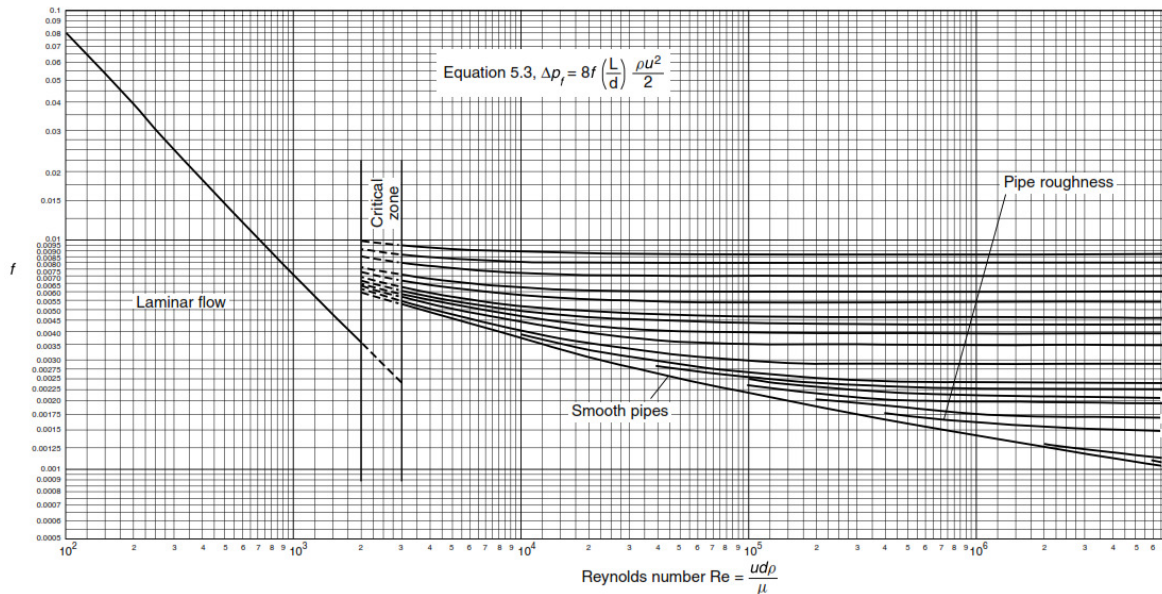
El factor de fricción se calcula a partir del Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería, que se calcula de la manera siguiente:

$$e = \frac{\text{rugosidad absoluta}}{D} \quad (\text{Ec. 5.6.9.})$$

La rugosidad absoluta de una tubería de acero comercial es de 0,046 mm. Así, la rugosidad relativa en este caso será, según la ecuación anterior, de 0,0004.

A partir de la gráfica siguiente obtenemos el factor de fricción:

Figura 5.6.3.: Factor de fricción [26].



El factor de fricción será de 0,00225.

La longitud de la tubería se supondrá de 3 m.

Las pérdidas de presión debidas a los accesorios de las cargas, en número de cargas de velocidad será de:



**Tabla 5.6.3.:** Pérdidas de presión en accesorios de tubería en números de cargas de velocidad [26].

Accesorio	K
Descarga de tanque	0,5
Válvula antirretorno	8,2
Salida	1
<b>Total</b>	<b>9,7</b>

De este modo, la pérdida de carga por fricción y misceláneas será:

$$h_p = \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} \left( \frac{0,00225 \cdot 3}{0,128} + 9,7 \right) = 2,3 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.10.})$$

La altura de líquido en el tanque de homogeneización es  $z_1 = 5,03 \text{ m}$ . La altura de la entrada al reactor UASB es nula, ya que entra por la parte inferior.

Así, la pérdida de carga total será:

$$H = \left( \frac{1 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,8} + \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} + 0 \right)_2 - \left( \frac{0}{1000 \cdot 9,8} + \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} + 5,03 \right)_1 + 2,3 + 3,06 = 10,53 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.11.})$$

Como unidades de presión será:

$$\Delta P = 10,53 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 103234 \text{ Pa} = 1,03 \text{ bar} \quad (\text{Ec. 5.6.12.})$$

La presión de succión máxima se calcula con la ecuación siguiente:

$$P_{\text{máx.succión}} = P_{\text{diseño } V-101} + \rho \cdot g \cdot (h_{\text{elevación}} + h_{\text{máxima}}) \quad (\text{Ec. 5.6.13.})$$

$$P_{\text{máx.succión}} = 3,5 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,8 \cdot (0 + 6,03) = 409094 \text{ Pa} = 4,09 \text{ barg} \quad (\text{Ec. 5.6.14.})$$

La presión de «shut off» se calcula con la ecuación siguiente:

$$P_{\text{shut-off}} = P_{\text{máx.succión}} + 1,2 \cdot \Delta P_{\text{diseño}} = 4,09 + 1,2 \cdot 1,03 = 5,326 \text{ barg} \quad (\text{Ec. 5.6.15.})$$

En la tabla siguiente es muestran los valores obtenidos para el diseño:

**Tabla 5.6.4.:** Valores de diseño de la bomba P-105.

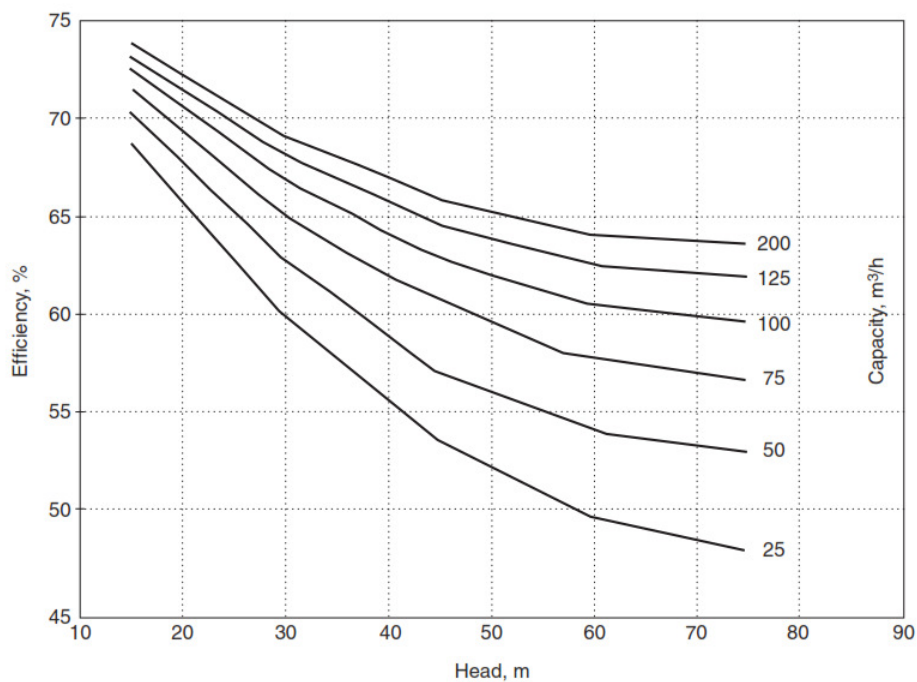
Presión de descarga	1 barg
Presión de succión	2,03 barg
Diferencial de presión	1,03 barg
Diferencial de carga	10,53 m

Presión de succión máxima	4,09 barg
Presión de "shut down"	5,33 barg

### 5.6.3.2. Potencia hidráulica

En primer lugar, se obtiene la eficacia de la bomba a partir de la carga que debe superar y de su capacidad en la gráfica siguiente:

Figura 5.6.4.: Eficacias de bomba [26].



La eficacia  $\mu$  obtenida es del 75% aproximadamente.

La potencia se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$P_W = \frac{H \cdot \dot{m} \cdot g}{\mu} = \frac{\Delta P \cdot Q}{\mu} = \frac{103234 \cdot 100}{0,75} = 1,38 \cdot 10^7 \frac{W}{h} \quad (\text{Ec. 5.6.16.})$$

$$= 3,82 \text{ kW}$$

### 5.7.3.3. NPSH(Net Positive Suction Head) mínimo requerido y disponible

Se va a calcular el NPSH mínimo mediante la ecuación siguiente:

$$NPSH_{min} = 1,8 \cdot Q^{0,18} = 4,13 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.17.})$$

### 5.6.3.4. Selección del material

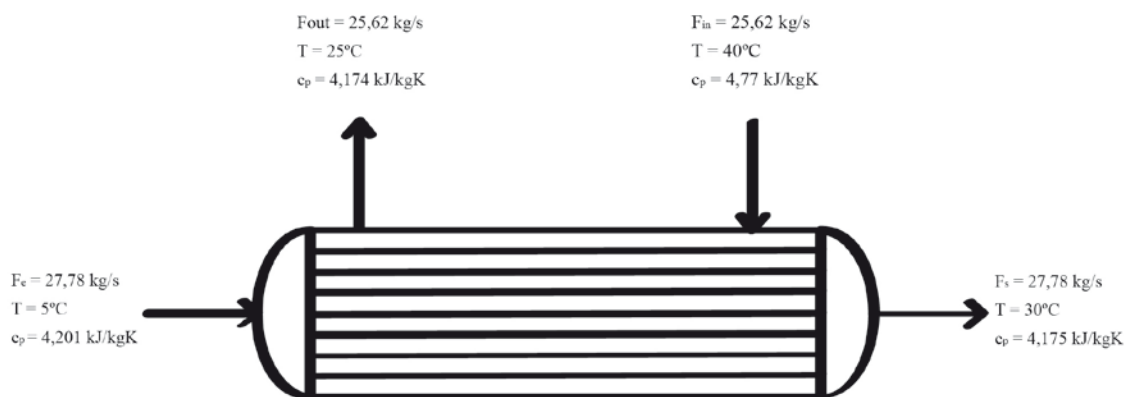
Viene dado por el fabricante de la bomba seleccionada.

#### 5.6.4. Intercambiador de calor de carcasa y tubos (C-106)

##### 5.6.4.1. Balance energético

En primer lugar, se caracterizan los flujos de entrada y de salida del intercambiador con el fin de hacer el balance de energía. Los valores se muestran en la figura siguiente.

Figura 5.6.5.: Esquema del intercambiador C-106.



El intercambiador se va a diseñar para un agua residual con una temperatura de entrada de 5°C y 30°C de salida. La temperatura del agua de calentamiento se ha establecido en 40°C, suponiéndose una de salida de 25°C. El flujo entre tubos y carcasa es en contracorriente. Así, lo que será necesario calcular será el caudal de entrada de agua de calentamiento, siendo este el mismo que el de la salida.

La potencia calorífica que será necesario aportar vendrá dada por la expresión siguiente:

$$Q = \dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot T_s - \dot{m}_e \cdot c_{pe} \cdot T_e = 2698,53 \text{ kW} \quad (\text{Ec. 5.6.18.})$$

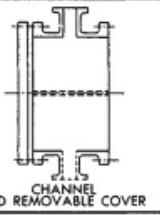
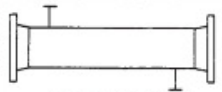
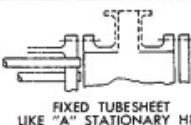
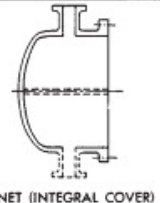
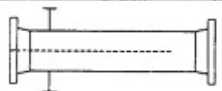
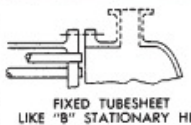
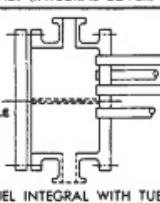
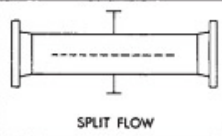
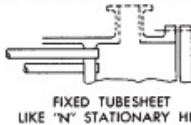
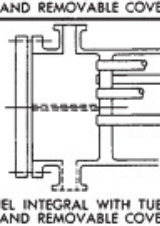
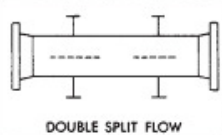
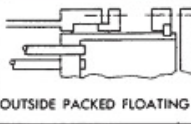
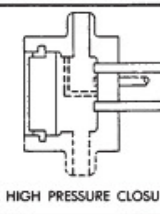
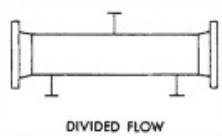
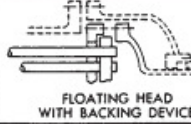
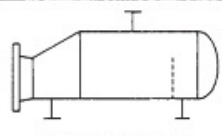
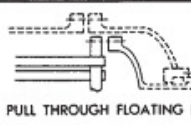
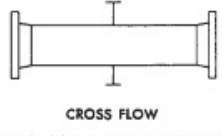
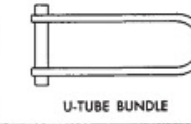
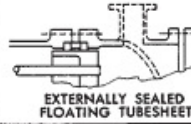
A partir de esto se calcula el caudal de agua de calentamiento a utilizar.

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \frac{2698,53}{323 \cdot 4,177 - 298 \cdot 4,174} = 25,62 \text{ kg/s} \quad (\text{Ec. 5.6.19.})$$

##### 5.6.4.2. Selección del intercambiador

A partir del catálogo TEMA se seleccionan los tipos de cabezales y de carcاسas. En este caso, se ha elegido un intercambiador tipo BEM.

Figura 5.6.6.: Catálogo TEMA [27].

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
<b>A</b>	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	<b>E</b>	 ONE PASS SHELL	<b>L</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
<b>B</b>	 BONNET (INTEGRAL COVER)	<b>F</b>	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	<b>M</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
<b>C</b>	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>G</b>	 SPLIT FLOW	<b>N</b>	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
<b>N</b>	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	<b>H</b>	 DOUBLE SPLIT FLOW	<b>P</b>	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
<b>D</b>	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	<b>J</b>	 DIVIDED FLOW	<b>S</b>	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		<b>K</b>	 KETTLE TYPE REBOILER	<b>T</b>	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		<b>X</b>	 CROSS FLOW	<b>U</b>	 U-TUBE BUNDLE
				<b>W</b>	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

### 5.6.4.3. Diseño de los tubos

Se calcula, ahora, el área de intercambio de calor.

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{ln} \quad (\text{Ec. 5.6.20.})$$

Donde,

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = 14,42 \text{ } ^\circ\text{C} = 287,43 \text{ K} \quad (\text{Ec. 5.6.21.})$$

Según Coulson, el coeficiente global de transferencia de calor para un intercambiador de carcasa y tubos donde tanto el fluido frío como el fluido caliente son agua en estado líquido oscila entre 800 y 1500 W/m<sup>2</sup>°C. Se seleccionará inicialmente un valor intermedio de 1000 W/m<sup>2</sup>°C.

**Tabla 5.6.6.:** Valores típicos del coeficiente global de transferencia de calor para distintos fluidos [28].

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50

Por tanto,

$$A = \frac{\dot{q}}{U \cdot \Delta T_{ln}} = \frac{2698,53}{1000 \cdot 287,43} = 9,39 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 5.6.22.})$$

Establecida el área de transferencia de calor, se procede al diseño de los tubos. Se eligen unas dimensiones estándar, que se encuentran en la tabla siguiente.

**Tabla 5.6.7.:** Grososres estándar de tubos [28].

Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)				
16	1.2	1.6	2.0	—	—
20	—	1.6	2.0	2.6	—
25	—	1.6	2.0	2.6	3.2
30	—	1.6	2.0	2.6	3.2
38	—	—	2.0	2.6	3.2
50	—	—	2.0	2.6	3.2

En este caso se va a seleccionar tubos de 25mm de diámetro externo y 2mm de espesor.

Las longitudes estándar de los tubos son las siguientes: 6 ft (1,83 m), 8 ft (2,44 m), 12 ft (3,66 m), 16 ft (4,88 m), 20 ft (6,10 m) y 24 ft (7,32 m). La longitud seleccionada será la de 2,44 m.

Teniendo estos datos, calculamos el número de tubos necesarios.

$$N_t = \frac{A}{\pi \cdot d_o \cdot L} \approx 49 \text{ tubos} \quad (\text{Ec. 5.6.23.})$$

La distribución de tubos seleccionada será la de distribución triangular. Teniendo esto en cuenta, calculamos el diámetro de la bancada de tubos[28].

$$D_b = d_o \left( \frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (\text{Ec. 5.6.24.})$$

Las constantes  $K_1$  y  $n_1$  se encuentran en la tabla siguiente:

**Tabla 5.6.8.:** Valores de  $K_1$  y  $n_1$  para distintas configuraciones de tubos [28].

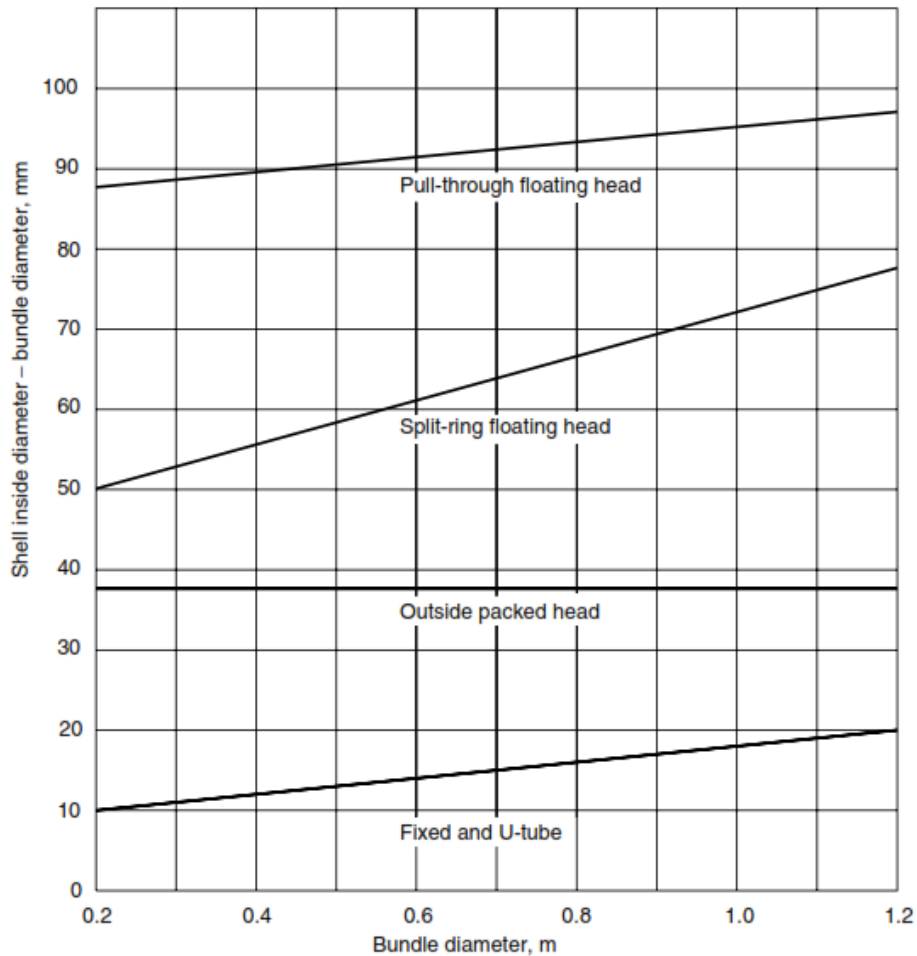
Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n_1$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Así pues, el diámetro de la bancada será de 262,2 mm.

#### 5.6.4.4. Diseño de carcasa

El diámetro de la carcasa será el diámetro de la bancada de tubos más la holgura. Esta última dependerá del tipo de intercambiador que hayamos seleccionado, en nuestro caso un intercambiador de tubos fijos. La holgura vendrá dada por la gráfica siguiente.

Figura 5.6.7.: Selección de holgura de carcasa [28].



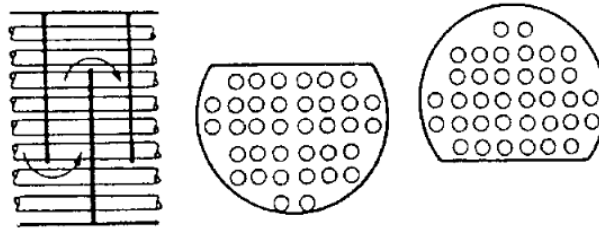
Así pues,

$$D_s = 262,2 + 11 = 273,2 \text{ mm} = 10,75" \quad (\text{Ec. 5.6.25.})$$

La carcasa se fabrica a partir de tuberías de elevado diámetro. Así, el diámetro nominal de tuberías más próximo por encima del requerido será DN=12". Eligiendo el Schedule 40, se tiene un diámetro interior de 11,938" (303,225 mm), ligeramente superior al calculado.

Para un mayor contacto entre los dos flujos, se dispondrán placas deflectoras dentro de la carcasa que obliguen al agua de calefacción a recorrer un determinado camino. La distribución seleccionada es la que se muestra en la Figura 5.7.7.

Figura 5.6.8.: Distribución de placas deflectoras [28].



La distancia entre las placas deflectoras será un 50% del diámetro de la carcasa:

$$l_b = 0,5 \cdot 303,225 = 151,6125 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 5.6.26.})$$

#### 5.7.4.5. Cálculo de coeficientes individuales

El coeficiente individual referido a los tubos se calcula a partir de Nusselt:

$$Nu = \frac{h_i \cdot d_i}{k} \quad (\text{Ec. 5.6.27.})$$

A partir de la ecuación de Dittus-Boetter [29] para transmisión de calor por convección forzada de un flujo turbulento ( $Re = 31280$ ) a través de un conducto cilíndrico obtenemos  $Nu$ .

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 192,58 \quad (\text{Ec. 5.6.28.})$$

$$h_i = \frac{262,18 \cdot 0,5914}{0,023} = 4951,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad (\text{Ec. 5.6.29.})$$

Para calcular el coeficiente individual en la carcasa se utiliza el método de Kern, que consiste en despejar  $h_o$  de la correlación de Kern:

$$\frac{h_o \cdot d_e}{k} = j_h \cdot \left( \frac{d_e \cdot G_S}{\mu} \right) \cdot \left( \frac{c_p \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0,14} \quad (\text{Ec. 5.6.30.})$$

En primer lugar se calcula el área máxima perpendicular al flujo:

$$A_s = \frac{d_s \cdot l_b \cdot (P_t - d_o)}{P_t} = 0,0092112 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 5.6.31.})$$

Densidad de flujo másico:

$$G_S = \frac{G}{A_s} = 2781,4 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \quad (\text{Ec. 5.6.32.})$$

Velocidad lineal:

$$u_s = \frac{G_S}{\rho} = 0,2781 \frac{m}{s} \quad (\text{Ec. 5.6.33.})$$



Diámetro equivalente de carcasa (para configuración triangular de los tubos):

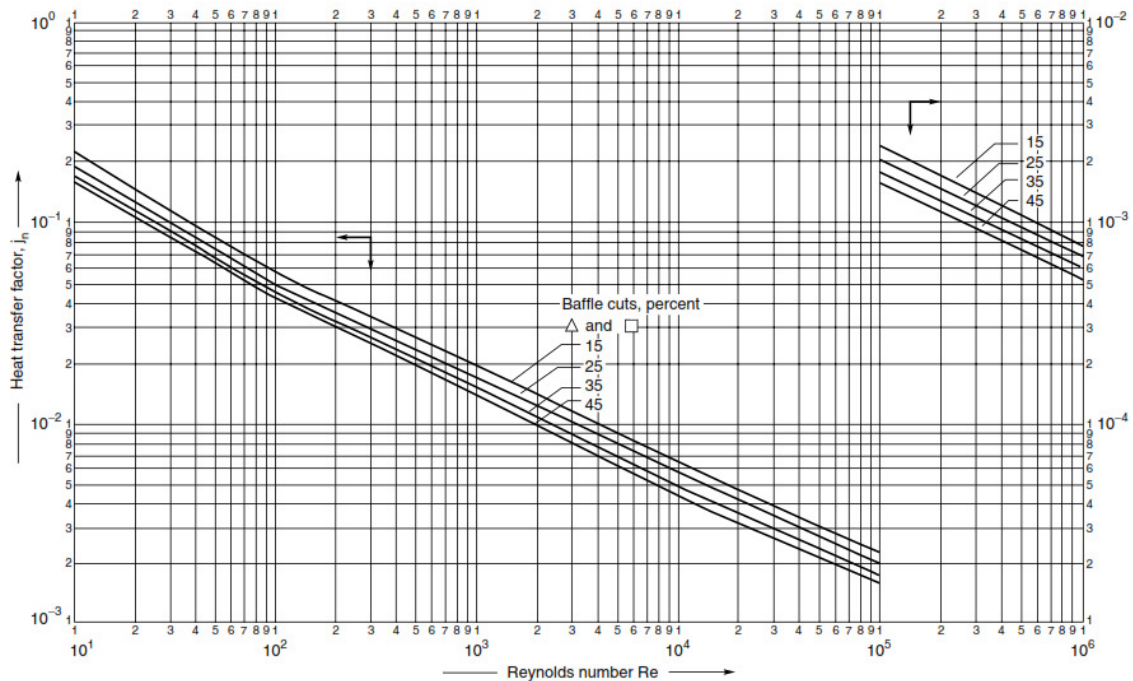
$$d_e = 4 \left( \frac{\frac{P_t}{2} - 0,87P_t - \frac{1}{2} \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_o}{2}} \right) = 0,01775 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.34.})$$

Para hallar  $j_h$  calculamos en primer lugar el  $Re$  en carcasa.

$$Re = \frac{G_s \cdot d_e}{\mu} = 49369,79 \quad (\text{Ec. 5.6.35.})$$

Suponiendo un corte en las placas deflectoras de un 15%, se halla  $j_h$  en la gráfica siguiente:

Figura 5.6.9.: Factor  $j_h$  [28].



Así, utilizando la correlación de Kern, queda  $h_o = 10469,68 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

#### 5.6.4.6. Cálculo del nuevo coeficiente global

Se calcula a partir de la expresión siguiente [28]:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o \cdot \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_o}{d_i \cdot h_i} + \frac{d_o}{d_i \cdot h_{id}} \quad (\text{Ec. 5.6.36.})$$

Las expresiones  $h_{od}$  y  $h_{id}$  son los factores de ensuciamiento fuera y dentro de los tubos, respectivamente. Se estiman a partir de la tabla siguiente:

**Tabla 5.6.9.:** Valores típicos de coeficientes de ensuciamiento para distintos tipos de aguas [28].

Fluid	Coefficient (W/m <sup>2</sup> °C)	Factor (resistance) (m <sup>2</sup> °C/W)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

Se toma para ambos un valor de 3000 W/m<sup>2</sup>°C.

La expresión  $k_w$  es la constante de conductividad del material, en este caso acero.

Para el acero,  $k_w = 45$  W/m<sup>2</sup>°C.

Sustituyendo en la expresión inicial, obtenemos un coeficiente global muy parecido al que se había estimado inicialmente.

$U_o = 967,26$  W/m<sup>2</sup>°C.

Entonces, el intercambio de calor que es capaz de producirse en C-106 será:

Duty = 2610664,785W/h = 2610,67 kW/h.

#### 5.6.4.7. Cálculo de pérdidas de presión en tubos y en carcasa

La pérdida de presión en los tubos se calcula teniendo en cuenta fundamentalmente dos tipos de pérdidas: las pérdidas debidas a la fricción y las pérdidas debidas a la repentina contracción y expansión del fluido antes y después de la entrada y salida de los tubos.

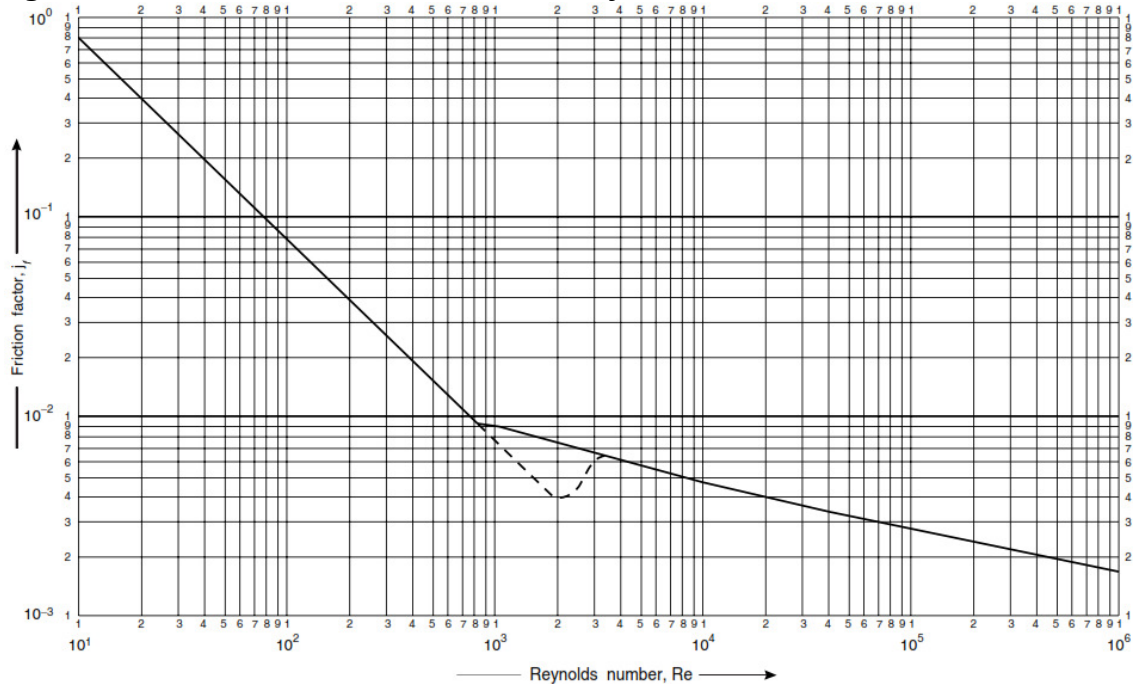
Existen distintos modos de calcular la caída de presión [28].

$$\Delta P_t = N_p \left[ 8j_f \left( \frac{L}{d_i} \right) \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho u_t^2}{2} \quad (\text{Ec. 5.6.37.})$$

Siendo  $m = 0,25$  para flujo laminar ( $Re < 2100$ ) y  $m = 0,14$  para flujo turbulento ( $Re > 2100$ ). En este caso se tiene flujo turbulento ( $Re = 46000$ ).

El factor de fricción  $j_f$  se calcula a partir de la gráfica siguiente:

Figura 5.6.10.: Factor de fricción en los tubos,  $j_f$  [28].



La velocidad a través de los tubos se calcula de la manera siguiente:

$$u_t = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot N_t} = 1,36 \frac{m}{s} \quad (\text{Ec. 5.6.38.})$$

De este modo, queda:

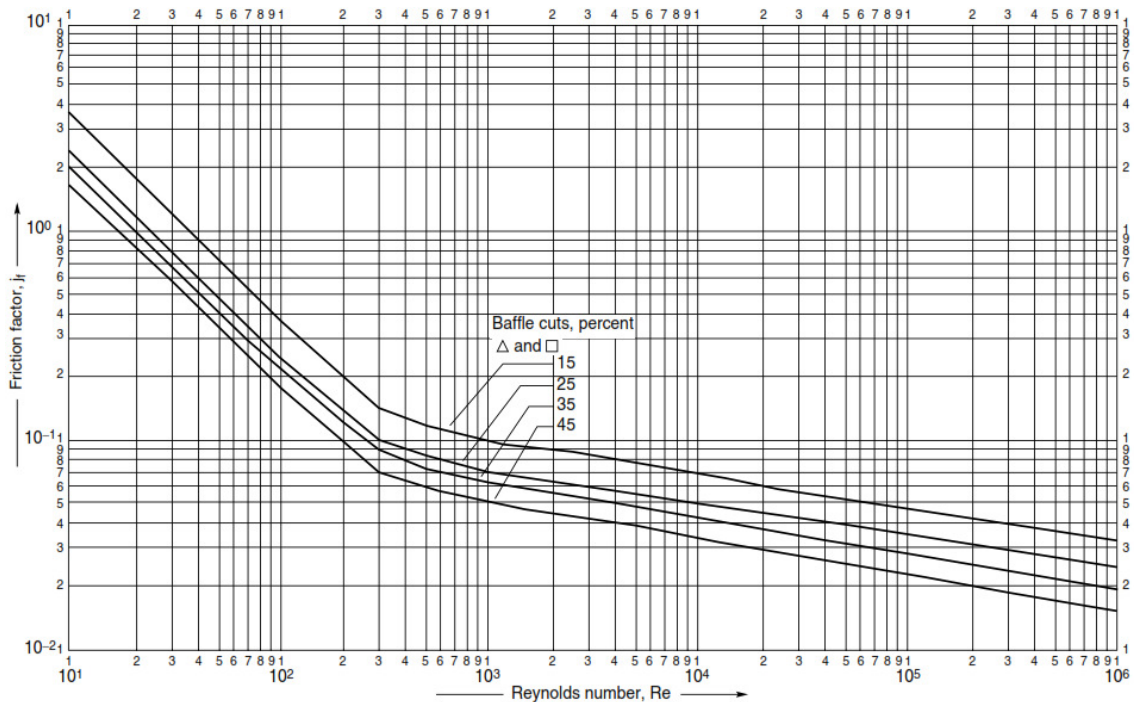
$$\begin{aligned} \Delta P_t &= 1 \cdot \left[ 8 \cdot 0,0033 \cdot \frac{2,44}{0,023} \cdot 1 + 2,5 \right] \cdot \frac{1000 \cdot 1,36^2}{2} = 3604,47 \text{ Pa} \\ &= 0,04 \text{ bar} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 5.6.39.})$$

La caída de presión en la carcasa se calcula con a expresión siguiente [28]:

$$(-\Delta P_s) = 8 \cdot j_f \cdot \left( \frac{D_s}{d_e} \right) \left( \frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad (\text{Ec. 5.6.40.})$$

Se halla el factor de fricción  $j_f$  en la tabla siguiente a partir de la curva para placas deflectoras con un 15% de corte.

Figura 5.6.11.: Factor de fricción en la carcasa,  $j_f$  [28].



De este modo se obtiene una caída de presión de 4249,5 Pa (0,042 bar).

### 5.6.5. Reactor anaerobio UASB (R-107)

#### 5.6.5.1. Diseño del reactor

Para el diseño del reactor anaerobio de tipo UASB, se establecen en primero algunos parámetros a partir de valores típicos como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6.6.10.: Valores típicos y valor seleccionado de reactor UASB [30].

Parámetro		Rango típico	Valor
CV, kg DQO/m <sup>3</sup> d	Carga volumétrica	5-30	30
u, m/h	Velocidad ascensional	0,6-1,5	1,5
Q, m <sup>3</sup> /h	Caudal	-	100
S <sub>0</sub> , mg/L	Concentración DQO entrada	-	10714,29
E, %	Rendimiento de eliminación DQO	80-95	85
X, mg SSV/L	Conc. SSV en manto de lodos	5000-40000	20000
H <sub>G</sub> , m	Altura del separador GSL	2,5-3	2,5
e, %	Coefficiente de espacio efectivo	-	85
Y, kg SSVLM/kg DQO elim	Rendimiento celular	-	0,04

Hecho esto, se procede al cálculo de parámetros de interés:



- Concentración de DQO a la salida,  $S$  (kg/h)

$$S = S_o \cdot \left(1 - \frac{E}{100}\right) = 1607,14 \frac{mg}{L} \quad (\text{Ec. 5.6.41.})$$

- Volumen efectivo del reactor,  $m^3$

$$V_n = \frac{Q \cdot S_o}{CV} = 857,14 m^3 \quad (\text{Ec. 5.6.42.})$$

- Volumen del reactor,  $m^3$

$$V_L = \frac{V_n}{e} \cdot 100 = 1008,4 m^3 \quad (\text{Ec. 5.6.43.})$$

- Tiempo de retención hidráulico, h

$$TRH = \frac{V_L}{Q} = 10,08 h \quad (\text{Ec. 5.6.44.})$$

- Producción de microorganismos, kg/d

$$P_x = Y \cdot Q \cdot (S_o - S) = 874,29 \frac{kg}{d} \quad (\text{Ec. 5.6.45.})$$

- Tiempo de retención celular, d

$$TRC = \frac{V_n \cdot X}{P_x} = 19,6 d \quad (\text{Ec. 5.6.46.})$$

- Relación alimento/microorganismos, kg DQO/(kg SSVLM-d)

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot S_o}{V_n \cdot X} = 1,5 \quad (\text{Ec. 5.6.47.})$$

- Área transversal del reactor,  $m^2$

$$A = \frac{Q}{u} = 100 m^2 \quad (\text{Ec. 5.6.48.})$$

- Arista, m

$$a = \sqrt{A} = 10 m \quad (\text{Ec. 5.6.49.})$$

- Altura, m

$$H = \frac{V_L}{A} = 10,08 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.50.})$$

- Altura total

$$H_T = H + H_G = 12,58 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.51.})$$

### 5.6.5.2. Producción de biogás

La producción de biogás en el reactor anaerobio se puede estimar como 350 mL de CH<sub>4</sub> por gramo de DQO eliminada[31]. La composición aproximada del gas sería de un 70-75% de metano y un 25-30% de dióxido de carbono, obteniéndose en pequeña proporción otros subproductos como el H<sub>2</sub>S.

Así pues, el biogás producido será:

$$\begin{aligned} Q_{CH_4} &= 350 \frac{\text{mL}}{\text{g DQO}} \cdot 100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot (10714,29 \frac{\text{g DQO}}{\text{m}^3} - 1607,14 \frac{\text{g DQO}}{\text{m}^3}) \\ &= 318750250 \frac{\text{mL}}{\text{h}} = 318,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 5.6.52.})$$

Considerando un 75 de metano en el biogás se tiene:

$$Q_{biogás} = \frac{318,75}{0,75} = 425 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (\text{Ec. 5.6.53.})$$

Por tanto, el flujo másico de biogás será aproximadamente de 410,125 kg/h.

El biogás tiene un valor energético de 35,8 kJ/L de CH<sub>4</sub>.

Así, potencia capaz de producir el biogás de la planta será de:

$$318,75 \frac{\text{m}^3 CH_4}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 35,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 CH_4} = 3169,79 \text{ kW} \quad (\text{Ec. 5.6.54.})$$

### 5.7.5.3. Caudal de efluente

Puede hallarse mediante un simple balance de materia:

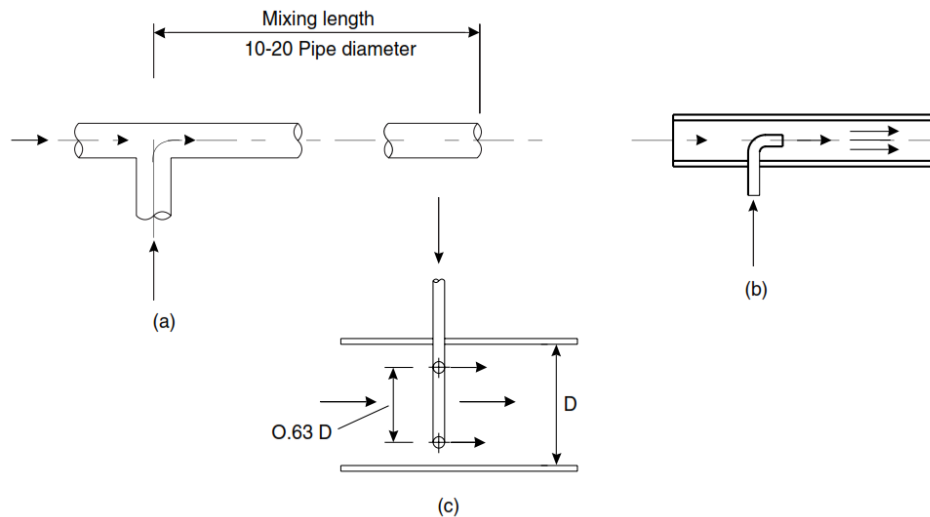
$$\dot{m}_{efluente} = (1000 \cdot 100) - (410,125) = 99589,875 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (\text{Ec. 5.6.55.})$$

$$Q_{efluente} = \frac{99589,875}{1000} = 99,59 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (\text{Ec. 5.6.56.})$$

### 5.6.6. Mezclador estático (M-108)

Los reactivos que se introducen en la línea 04, inmediatamente antes del mezclador estático (M-108) pueden inyectarse de cualquiera de las formas mostradas en la Figura 5.6.11.

Figura 5.6.12. Tipos de inyección en tuberías [32].



La alternativa seleccionada será la *b*. Las tuberías de los reactivos son algo inferiores en diámetro a la de la línea general. De este modo, esta opción se adapta correctamente en este caso.

Inmediatamente después de la inyección de los nutrientes se dispondrá el mezclador M-108. El diámetro será el mismo que el de la tubería en que se encuentra (línea 4). El diámetro de esta tubería es de DN = 5" (127mm), con un diámetro interno de 128,19mm (Schedule 40).

El tipo de mezclador y el número de elementos internos se calcula a partir del régimen de flujo, obtenido a partir del número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d_i}{\mu} = \frac{1000 \cdot 2,15 \cdot 0,128}{0,01} = 27520 \quad (\text{Ec. 5.6.57.})$$

Tabla 6.6.11.: Número de elementos en mezclador en función de Reynolds [30].

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

Se trata, por tanto de un régimen de flujo turbulento. Observando en la tabla, para este tipo de flujo el número de elementos necesario en el mezclador será de 4.

### 5.6.7. Reactor aerobio de mezcla completa (R-109)

#### 5.6.7.1. Adición de reactivos

El efluente que sale como producto de la degradación anaerobia es conducido a la siguiente etapa del proceso biológico, esta vez un reactor aerobio de mezcla completa. No obstante, previamente, será necesario reponer nutrientes a fin de que la degradación aerobia pueda llevarse a cabo en óptimas condiciones. Para ello, se dispone de una válvula manual en la tubería que une R-107 con el mezclador estático M-108. Esta válvula manual permitirá realizar las tomas de muestras que sean oportunas para el análisis del agua y poder, de esta manera, establecer la necesidad de nutrientes. La relación de la DBO con los nutrientes, en este caso, será la siguiente:

$$DBO: N: P = 100: 5: 1$$

La dosificación de los reactivos se hará de forma manual. La inyección se hará inmediatamente antes del mezclador estático M-108. Este se encargará de homogeneizar la corriente.

Hecho esto, el efluente llega al reactor aerobio de mezcla completa R-109.



### 5.6.7.2. Diseño del reactor aerobio

En la tabla siguiente se muestran los valores que se han seleccionado a partir de valores típicos en reactores aerobios de mezcla completa:

**Tabla 5.6.12.:** Valores de diseño típicos y seleccionado de reactor aerobio R-109 [30].

Parámetro		Rango típico	Valor
CM, kgDQO/kg SSVLM·d	Carga másica	0,2-0,6	0,6
DO, mg/L	Oxígeno disuelto	>1	2
Q, m <sup>3</sup> /h	Caudal de afluente	-	99,589
S <sub>o</sub> , mg DQO/L	Concentración de DQO en afluente	-	1607,14
E, %	Porcentaje de eliminación	85-95	90
X, mg SSVLM/L	Concentración de SSVLM en reactor	2500-4000	3200
X <sub>w</sub> , mg SSVLM/L	Concentración de SSVLM en purga	-	10000
X <sub>E</sub> , mg SSVLM/L	Concentración de SSVLM en efluente clarificado	-	15
ρ, kg/m <sup>3</sup>	Densidad de lodos	-	1005
Y, kg SSVLM/kg DQO elim	Rendimiento o síntesis celular	-	0,4
H, m	Altura del reactor	-	6
e, %	Eficiencia difusores de aire	20-35	30
paire (1atm, 20°C), kg/m <sup>3</sup>	Densidad del aire	-	1,2

A partir de estos parámetros, se efectúan distintos cálculos de diseño:

- Volumen del reactor, m<sup>3</sup>

$$V = \frac{Q \cdot S_o}{X \cdot CM} = 2000,5 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 5.6.58.})$$

- Tiempo hidráulico de residencia, h

$$THR = \frac{V}{Q} = 20,09 \text{ h} \quad (\text{Ec. 5.6.59.})$$

- Anchura, m

$$W = \sqrt{\frac{V}{2H}} = 12,9 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.60.})$$

- Longitud, m

$$L = 2 \cdot W = 25,8 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.61.})$$

- Carga volumétrica, kg DQO/m<sup>3</sup>·d

$$CV = \frac{Q \cdot S_o}{V} = 1,92 \quad (\text{Ec. 5.6.62.})$$



- Concentración de DQO en el afluente, mg DQO/L

$$S = S_o \left(1 - \frac{E}{100}\right) = 160,71 \frac{\text{mg DQO}}{L} \quad (\text{Ec. 5.6.63.})$$

- Producción de microorganismos, kg/d

$$P_x = Y \cdot Q \cdot (S_o - S) = 1382,87 \frac{\text{kg}}{d} \quad (\text{Ec. 5.6.64.})$$

- Necesidad de oxígeno, kg O<sub>2</sub>/d

$$R_o = Q \cdot (S_o - S) - 1,42 \cdot P_x = 1493,49 \frac{\text{kg O}_2}{d} \quad (\text{Ec. 5.6.65.})$$

- Necesidad de aire, m<sup>3</sup> aire/d

$$R_{\text{aire}} = R_o \left(\frac{100}{23}\right) \left(\frac{1}{\rho_{\text{aire}}}\right) \left(\frac{1}{e}\right) = 18037,3 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{d} = 751,55 \frac{\text{m}^3}{h} \quad (\text{Ec. 5.6.66.})$$

- Vertido a cauce, m<sup>3</sup>/h

$$Q_E = \frac{Q \cdot X - P_x}{X_W - X_E} = 93,98 \frac{\text{m}^3}{h} \quad (\text{Ec. 5.6.67.})$$

- Caudal de purga, m<sup>3</sup>/h

$$Q_w = Q - Q_E = 5,6 \frac{\text{m}^3}{h} \quad (\text{Ec. 5.6.68.})$$

- Caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/h

$$Q_R = \frac{Q \cdot X - Q_E \cdot X_E - Q_w \cdot X_w}{X_W - X} = 38,4 \frac{\text{m}^3}{h} \quad (\text{Ec. 5.6.69.})$$

- Relación de recirculación, %

$$r = \frac{Q_R}{Q} \cdot 100 = 38,56\% \quad (\text{Ec. 5.6.70.})$$

- Tiempo de retención celular, d

$$TRC = \frac{V \cdot X}{P_x} = 4,63 \text{ días} \quad (\text{Ec. 5.6.71.})$$

### 5.6.8. Bomba centrífuga (P-113)

Las condiciones para calcular los parámetros de esta bomba son los siguientes:

Tabla 5.6.13.: Condiciones de diseño de bomba P-113.

Parámetro	Valor
$P_1$	0 barg
$P_2$	0 barg
$Z_1$	0 m
$Z_2$	4 m
$v$	2,15 m/s
$f$	0,00225
$l$	6 m

Será necesario recalculer las pérdidas de carga debidas a fricción y misceláneas.

Tabla 5.6.14.: Pérdidas de carga en accesorios de tuberías en número de velocidades de carga [26].

Accesorio	K
Descarga de tanque	0,5
Válvula antirretorno	8,2
Codo 90°	0,6
Salida	1
<b>Total</b>	<b>10,3</b>

$$h_p = \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} \left( \frac{0,00225 \cdot 6}{0,128} + 10,3 \right) = 2,45 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.72.})$$

La pérdida de carga total será:

$$H = \left( \frac{0}{1000 \cdot 9,8} + \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} + 4 \right)_2 - \left( \frac{0}{1000 \cdot 9,8} + \frac{2,15^2}{2 \cdot 9,8} + 0 \right)_1 + 10,3 \quad (\text{Ec. 5.6.73.})$$

$$= 6,45 \text{ m}$$

Lo que equivale a una presión de:

$$\Delta P = 6,45 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 63210 \text{ Pa} = 0,63 \text{ barg} \quad (\text{Ec. 5.6.74.})$$

$$P_w = \frac{H \cdot \dot{m} \cdot g}{\mu} = \frac{\Delta P \cdot Q}{\mu} = \frac{63210 \cdot 100}{0,75} = 8,43 \cdot 10^6 \frac{W}{h} = 2,34 \text{ kW} \quad (\text{Ec. 5.6.75.})$$

$$P_{\text{máx.succión}} = 3,5 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9,8 \cdot (0 + 0) = 350000 \text{ Pa} \quad (\text{Ec. 5.6.76.})$$

$$= 3,5 \text{ barg}$$

$$P_{shut-off} = P_{m\acute{a}x.succión} + 1,2 \cdot \Delta P_{dise\tilde{n}o} = 3,5 + 1,2 \cdot 0,63$$

$$= 4,256 \text{ barg} \quad (\text{Ec. 5.6.77.})$$

Los parámetros de diseños calculados serán:

**Tabla 5.6.15.:** Parámetros de diseño de bomba P-113.

Parámetro	Valor
Presión de descarga	0 barg
Presión de succión	0,63 barg
Diferencial de presión	0,63 barg
Diferencial de carga	6,45 m
NPSH mínimo	4,12 m
Presión de succión máxima	3,5 barg
Presión de shut-off	4,26 barg
Potencia hidráulica	2341,11 W

### 5.6.9. Decantador final (D-114)

Se diseña a partir de los valores siguientes:

**Tabla 5.6.16.:** Valores de diseño típicos y seleccionados de decantador D-114 [30].

Parámetro		Rango típico	Valor
$Q$ , m <sup>3</sup> /h	Caudal del afluente	-	99,589
$Q_R$ , m <sup>3</sup> /h	Caudal de recirculación	-	38,4
$X$ , mg SSVLM/L	Concentración de SSV en la entrada	-	3200
$h$	Altura del decantador	3-6,5	4
$u$ , m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Velocidad ascensional	18-28	25

Se efectúan los cálculos siguientes para el diseño:

- Área transversal, m<sup>2</sup>

$$A = \frac{(Q + Q_R)}{u} = 132,47 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 5.6.78.})$$

- Diámetro, m

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 13 \text{ m} \quad (\text{Ec. 5.6.79.})$$

- Volumen del decantador, m<sup>3</sup>

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} h = 530,93 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 5.6.80.})$$

- Carga de sólidos, kg/m<sup>2</sup>h

$$\frac{(Q + Q_R)X}{A} = 3,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}} \quad (\text{Ec. 5.6.81.})$$

- Carga sobre vertedero, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h

$$\frac{Q_E}{\pi D} = 2,3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}} \quad (\text{Ec. 5.6.82.})$$

### 5.6.10. Filtro de bandas para el tratamiento de fangos (M-303)

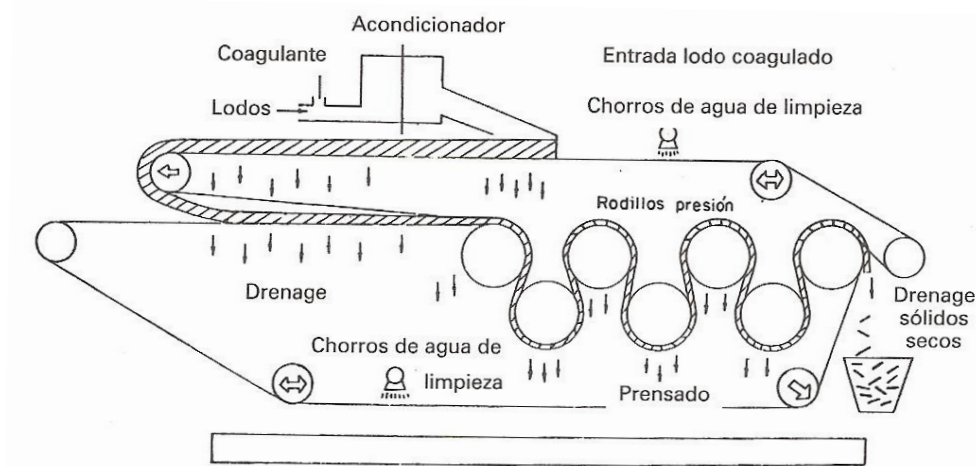
#### 5.6.10.1. Selección del filtro de bandas

La producción de fangos para la cual se diseña el filtro de bandas es de 5,6 m<sup>3</sup>/h. De acuerdo con la bibliografía\*, en fangos secundarios de procesos biológicos por cada metro de anchura de banda puede introducirse un caudal comprendido entre 4 y 9 m<sup>3</sup>/h de fangos. De este modo, para el caso bastará un filtro de bandas de 1 m de anchura. Los tamaños normalizados de bandas Andritz van de 500 a 2500 mm, como ancho de banda. El tipo seleccionado, entonces será el SDM 1000, cuyas características son las siguientes:

**Tabla 5.6.17.:** Filtro de banda seleccionado. Características[33].

Tipo	Longitud, mm	Anchura, mm	Altura, mm	Peso, t	Consumo, kW
SDM 1000	3900	2000	1700	3	3

Figura 5.6.13.: Esquema de un filtro de bandas[33].



### 5.6.10.2. Selección del floculante

Será preciso tomar una muestra representativa de los fangos a fin de determinar en laboratorio el carácter iónico de los mismos. Una vez determinado si se trata de un fango aniónico o catiónico, se selecciona [34]:

- FLOPAM™ AN 900 SH para aniónicos.
- FLOPAM™ FO 4000 SH para catiónicos.

Para determinar la dosificación óptima de floculante será preciso tomar una muestra del fango y hacer el siguiente análisis en laboratorio. La dosis inicial será función de la concentración de fangos (se toma, por ejemplo, una solución de 5ml y 3g/l para 200ml de fangos a una concentración de 30g/l). Si se produce una buena floculación, se realiza una nueva prueba reduciendo la dosis (por ejemplo, -1ml). En el caso de que la floculación sea mala o no se produzca, se incrementará la dosis (+1ml) y esa será la seleccionada. La dosis mínima es la dosis más pequeña a la que se produce floculación[34].

## 5.7. Evaluación económica

Una evaluación del coste de construcción de la obra civil así como una estimación de los costes de los equipos y de toda la instalación es sumamente complicada, especialmente al tratarse de un trabajo académico. No obstante, el coste de Ejecución

en Obra civil se estima en 1.500.000 €[30] a partir de obras similares. De la misma manera, se estima el coste de los equipos y de la instalación en unos 1.300.000 €.

A continuación se presenta el estudio realizado acerca de los costes de explotación y mantenimiento de la planta depuradora de aguas residuales a lo largo de un año de funcionamiento. La correcta gestión de los recursos generados durante el proceso de depuración (biogás, lodos, agua...) tiene un papel importante a la hora de valorar el beneficio de la planta.

### 5.7.1. Gastos de explotación y mantenimiento

#### 5.8.1.1. Costes fijos

Se han estimado los costes fijos a partir de otros proyectos similares.

Tabla 5.7.1.: Resumen de costes fijos [30].

<b>Costes Fijos</b>	
<b>Personal</b>	42.300,00 €
Jefe de Planta	4.800,00 €
Oficial electromecánico	17.500,00 €
Operario	20.000,00 €
<b>Reparación y mantenimiento</b>	12.600,00 €
<b>Análisis y control de procesos</b>	7.100,00 €
Material de laboratorio	3.500,00 €
1 Análisis quincenal completo	3.600,00 €
<b>Administración y seguros</b>	6.100,00 €
Vestuario	600,00 €
Teléfono, agua potable	800,00 €
Otros gastos oficina	500,00 €
Seguro Responsabilidad Civil	1.200,00 €
Transporte y medios materiales	3.000,00 €
<b>Conservación obra civil</b>	6.000,00 €
<b>Total</b>	<b>74.100,00 €</b>

#### 5.7.1.2. Costes variables

##### A) Coste de reactivos

En la tabla siguiente se muestra el gasto aproximado de cada uno de los reactivos utilizados en el proceso y el coste anual de cada uno.

Tabla 5.7.2.: Coste anual de reactivos.

	€/l	€/kg	kg/año	l/año	€/año
NaOH 50%	32,60 €	-	-	200	6.520,00 €
CINH <sub>4</sub> 25%	-	0,20 €	105.811,20 €	-	21.162,24 €
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 80%	58,32 €	0,22 €	21.146,40 €	-	4.652,21 €
Polielectrolito	-	1,00 €	2.250,00 €		2.250,00 €
<b>Total</b>					<b>34.584,45 €</b>

*B) Coste de electricidad*

En la tabla siguiente se presenta el gasto aproximado de los equipos que requieren un aporte de energía eléctrica y el coste anual que suponen.

Tabla 5.7.3.: Coste anual de electricidad.

	kW	h/año	kWh/año	€/kWh	€/año
Motor V-101	3,44	7920	27244,8	0,09 €	2.452,03 €
P-105	3,82	7920	30254,4	0,09 €	2.722,90 €
Motor R-109	2	7920	15840	0,09 €	1.425,60 €
M-111	1	7920	7920	0,09 €	712,80 €
M-202	2	7920	15840	0,09 €	1.425,60 €
P-113	2,34	7920	18532,8	0,09 €	1.667,95 €
P-301	2	7920	15840	0,09 €	1.425,60 €
Motor M-302	1	7920	7920	0,09 €	712,80 €
Motor M-303	3	7920	23760	0,09 €	2.138,40 €
P-304	2	7920	15840	0,09 €	1.425,60 €
Motor V-305	1	7920	7920	0,09 €	712,80 €
Otros	-	-	50000	0,09 €	4.500,00 €
<b>Total</b>					<b>21.322,08 €</b>

*C) Transporte de subproductos*

El coste en transporte de los subproductos de la depuradora se estima en 2,46 €/tonelada de fango seco producida.

El caudal de fangos es de 5,6 m<sup>3</sup>/h. Se estima que de ellos se obtienen 1688,4 kg/h de fango seco tras la etapa de filtrado mediante filtro de bandas.

Esta cifra equivale a 13372,13 toneladas/año de fango seco que debe ser transportado.

El precio por tonelada transportada se estima en 2,5 €/tonelada.

Por tanto, el precio estimado de transporte será de **33430,32 €/año**.



#### D) Abastecimiento de agua

Teniendo en cuenta los dos puntos de entrada de agua de red, existentes en el proceso y teniendo en cuenta que el agua de recirculación que se utiliza en el intercambiador se renueva cada 24 horas, se ha estimado una cantidad de agua de unos 3000000 m<sup>3</sup>/año. En esta cifra se incluyen también los gastos de agua para el proceso de limpieza CIP.

A partir de las tarifas vigentes<sup>3</sup> del servicio de abastecimiento de Aguas de Valladolid S.A.[35] se calcula el coste de agua en un año.

**Tabla 5.7.4.:** Coste de agua.

	m <sup>3</sup> /año	€/m <sup>3</sup>	€/año
Cuota de servicio			12,594
Agua utilizada	30400	0,8037	24432,48
<b>Total</b>			<b>24445,07 €</b>

#### 5.7.1.3. Resumen de costes variables

En la tabla siguiente se muestra el resumen de los costes variables que se producen en un año de explotación y mantenimiento.

**Tabla 5.7.5.:** Resumen de costes variables.

<b>Reactivos</b>	34.584,45 €
<b>Electricidad</b>	21.322,08 €
<b>Transporte residuos</b>	33.430,32 €
<b>Agua</b>	24.445,07 €
<b>Total</b>	<b>113.781,92 €</b>

#### 5.7.2. Resumen de costes de explotación y mantenimiento

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los costes de explotación y mantenimiento anuales calculados en el apartado anterior.

<sup>3</sup> Ayuntamiento de Valladolid a 13 de diciembre de 2013: «Aprobación de las tarifas de agua potable, alcantarillado y depuración de aguas residuales para 2014.»

Tabla 5.7.6.: Resumen de costes de explotación y mantenimiento

<b>Costes fijos</b>	
Personal	42.300,00 €
Reparación y mantenimiento	12.600,00 €
Análisis y control de procesos	7.100,00 €
Administración y seguros	6.100,00 €
Conservación obra civil	6.000,00 €
	<b>74.100,00 €</b>
<b>Costes variables</b>	
Reactivos	34.584,45 €
Electricidad	21.322,08 €
Transporte residuos	33.430,32 €
Agua	24.445,07 €
	<b>113.781,92 €</b>
<b>Total</b>	<b>187.881,92 €</b>

A partir del coste anual de mantenimiento y explotación es posible estimar un coste unitario de la depuración de las aguas. Así, con una depuración anual de 693000 m<sup>3</sup>/año, el precio estimado será de 0,27 €/m<sup>3</sup>.

### 5.7.3. Gestión y beneficio de los subproductos

Será posible obtener beneficio mediante una correcta gestión de los subproductos generados en la planta, que serán fundamentalmente tres: los lodos, el biogás producido durante el tratamiento anaerobio y el agua tratada.

#### 5.7.3.1. Gestión de lodos

Hay diferentes alternativas a la hora de gestionar los fangos generados en la planta. Aquí se consideran los siguientes:

- Eliminación de los lodos en un vertedero.
- Quema de los lodos para su valorización energética.
- Venta de los lodos para sus fines agrícolas y ganaderos.

La primera opción no produce ningún tipo de beneficio, puesto que no se valorizan los fangos, tan solo se eliminan.

La segunda opción resulta más provechosa. Haría falta un estudio de la potencia calorífica de los fangos para verificar su aprovechamiento como fuente de energía. Además, deberá cumplir las normativas medioambientales vigentes.

La última opción puede resultar la más adecuada si se establece un correcto precio de lodo seco. Además, en este caso también será necesario cumplir las normativas referentes a la concentración en determinadas sustancias que podrían resultar nocivas para suelos o animales. Para el aprovechamiento de los lodos en fines agrícolas, será necesario cumplimentar la «ficha de explotación agrícola de lodos tratados» presente en el anexo II de la orden del 23 de diciembre de 1993, de acuerdo con el artículo 6º del Real Decreto 1310/1990[36].

#### 5.7.3.2. Valorización del biogás

El biogás producido en el tratamiento anaerobio puede ser aprovechado como fuente de energía para la propia planta de depuración o incluso para la misma fábrica de levadura. Esta transformación implicará la implantación de un sistema de cogeneración, capaz de transformar la energía calorífica producida en la combustión del biogás en energía eléctrica. Deberá tenerse en cuenta lo establecido en el RD 413/2014, referente a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables.

#### 5.7.4. Beneficio ambiental

Una depuradora de aguas, por definición, no está destinada a generar beneficios pues no genera productos de valor. No obstante, conforme a la directiva de marco de aguas (Directiva 2000/60/CE), es necesario tener en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, teniendo en cuenta el principio de «quien contamina paga». Se trata de calcular el beneficio ambiental, un cálculo que refleja, además, el valor de la eliminación de la contaminación en las aguas. Ya que no existen precios fijos de mercado, los valores se obtienen por estimación a partir de los datos de la bibliografía.

**Tabla 5.7.7.:** Precios sombra de los contaminantes eliminados [30].

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

Las cantidades de contaminantes eliminados se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 5.7.8.:** Cantidades de contaminante eliminado y su beneficio ambiental.

Contaminante	Eliminado, kg/año	Valor ambiental, €/año
SS	1472724	14.727,24 €
DBO	5920461,558	343.386,77 €
DQO	8401980,339	1.176.277,25 €
<b>Total</b>		<b>1.534.391,26 €</b>

Hecho el cálculo de eliminación anual de contaminantes y a partir de los precios sombra, se estima el valor ambiental global en un año que oscila en los 1.534.391,26 €.

## 5.8. Evaluación medioambiental

### 5.8.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la ejecución de una estación depuradora de aguas residuales asociadas a una fábrica de levaduras. El caudal medio que produce la fábrica se estima en 2100 m<sup>3</sup>/día. La fábrica y la depuradora están situadas en Valladolid y el vertido de las aguas tratadas se realiza a la EDAR municipal.

Las aguas residuales producidas en una fábrica de levaduras llevan fundamentalmente contaminación de tipo biológico. Así, las operaciones que se llevan a cabo en la línea de aguas son las siguientes:

- Pretratamiento:
  - Homogeneización con ajuste de pH y nutrientes
- Tratamiento biológico
  - Tratamiento anaerobio en reactor UASB
  - Tratamiento aerobio por fangos activos

La situación inicial de las aguas es la siguiente:

- DBO: 5000 mg/L.

- DQO: 7143 mg/L.
- SST: 5572,5 mg/L

Los límites de vertido establecidos por el reglamento se encuentran en la Tabla 5.3.1.

### 5.8.2. Identificación de impactos potenciales

En la Tabla 5.9.1. se muestran los posibles impactos ambientales que pueden producirse a lo largo de las tres fases de existencia de la depuradora: obra, explotación y clausura.

**Tabla 5.8.1.:** Impactos ambientales correspondientes a cada fase de existencia de la depuradora.

<b>Fase de obra</b>	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
<b>Fase de explotación</b>	Ocupación del espacio por la infraestructura
	Tratamiento del agua
	Labores de mantenimiento
<b>Fase de clausura</b>	Desmantelamiento de infraestructuras obsoletas
	Retirada de material
	Restauración de las superficies afectadas

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los impactos que se pueden presentar en los siete ámbitos del medio: aire, suelo, hidrología, vegetación, fauna, medio socioeconómico y paisaje. Las categorías con las que se describe cada uno de los elementos responden a las diferentes magnitudes del impacto:

- Impactos nulos (-)
- No significativos (NS)
- Compatibles (C)
- Moderados (M)

- Severos (S)
- Positivos (+)

Tabla 5.8.2.: Resumen de evaluación de impactos ambientales.

Elemento	Alteración	F. construcción	F. explotación	F. de clausura
Aire	Aumento de las partículas en suspensión	C	C	C
	Alteración de la calidad sonora del emplazamiento	C	NS	C
	Producción de ozono	-	-	-
	Campos electromagnéticos	-	-	-
Suelo	Aumento de los riesgos de erosión	C	NS	C
	Alteración de la estabilidad del suelo	C	-	C
	Pérdida de suelo	C	-	C
	Alteración de la geomorfología	C	-	C
	Compactación y degradación	C	-	C
	Posible contaminación por vertidos	N S	NS	N S
Hidrología	Alteración de la red de drenaje	C	C- M	C
	Contaminación por vertidos	N S	C- M	N S
	Alteración de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas	N S	C	N S
Vegetación	Eliminación y degradación de la vegetación	C	-	C
Fauna	Desaparición y/o modificación de hábitats	-	-	-
	Alteración de las poblaciones	-	-	-
	Eliminación de ejemplares	-	-	-
	Colisión contra línea eléctrica	-	-	-
Medio socioeconómico	Dinamización económica	N S	NS	N S
	Molestias a la población	C	C	C
	Afección al Patrimonio Histórico-Artístico	-	-	-
	Interferencias en la ordenación del territorio	-	-	-
	Afecciones a recursos turísticos	-	-	-
	Afecciones a los aprovechamientos existentes	N S	NS	N S
	Afecciones a las infraestructuras	N S	NS	N S
	Afecciones a las vías pecuarias	N S	NS	N S
	Interferencia con la logística de extinción de incendios	-	-	-

	Afección a espacios naturales	-	-	-
Paisaje	Pérdida de calidad	C	C	C
	Intrusión visual	C	C	C

En el siguiente apartado se van a analizar las principales causas de afección al medioambiente con el fin de presentar medidas de corrección y prevención.

### 5.8.3. Medidas preventivas y correctoras

#### 5.8.3.1. Aire

En este elemento del medio se presentan como principales problemas los siguientes:

1. Aumento de las partículas en suspensión.
  - a. En el caso de las fases de construcción y de clausura, el problema se presenta por la posible generación y levantamiento de polvo.
  - b. En el caso de la fase de explotación, el problema se dará principalmente con la posible generación de malos olores, consecuencia de los productos de la etapa de tratamiento biológico, cuando se generan compuestos gaseosos (el mal olor se genera principalmente por compuestos sulfurados).
2. Generación de ruido.
  - a. Este se da, principalmente, en las fases de construcción y de clausura, cuando la presencia de maquinaria encargada de transporte, demolición, etc., puede producir sonidos molestos en el entorno.

Como medidas preventivas y correctoras de los factores anteriores se presenta lo siguiente:

- En las fases de construcción y de clausura:
  - A fin de evitar el levantamiento de polvo se procurará regar los materiales, los caminos y las pistas.
  - Se retirará periódicamente el polvo acumulado, especialmente en aquellas zonas donde, a causa de posibles ráfagas de viento (caminos, pistas, turbinas, etc.) pueda levantarse polvo.



- Las máquinas deberán cumplir los límites de emisión de gases a la atmósfera y superar las correspondientes inspecciones técnicas.
- Deberán cumplirse los horarios de trabajo con máquinas con determinados niveles de ruido, que se establece en la normativa aplicable con respecto a protección acústica (Ley 37/2003). Así mismo, deberá ejercerse un control en los niveles de ruido de la maquinaria y llevar a cabo las oportunas revisiones y labores de mantenimiento con objeto de que se encuentren dentro de los límites establecidos por los ayuntamientos.
- En lo que respecta a la fase de explotación, las medidas serán las siguientes:
  - Se mantendrá un control estricto sobre los malos olores generados en la planta y se utilizarán las tecnologías disponibles para la reducción o eliminación de estos (antorcha, almacenamiento...).

#### 5.8.3.2. Suelo y vegetación

Los problemas pueden generarse, fundamentalmente, en las fases de construcción y de clausura. La causa principal sería la necesaria remoción del terreno para la edificación o el desmantelamiento. Las medidas de prevención y corrección propuestas serían las siguientes:

- Se realizará una selección estricta del terreno a explotar evitando así una innecesaria retirada de vegetación.
- Se gestionarán los residuos generados a causa de los movimientos de tierra y los trabajos de construcción o desmantelamiento. Esta gestión se hará conforme a la catalogación establecida por el Listado Europeo de Residuos (LER). En lo posible, se procurará valorizar los residuos en la propia obra. En caso de no ser posible, se entregarán a un gestor autorizado para su valorización.

#### 5.8.3.3. Hidrología

El problema principal que se puede encontrar en este aspecto es la contaminación por vertidos durante la fase de explotación. Este problema es importante especialmente



cuando se superan los valores límites de vertido establecidos en la normativa municipal (Tabla 5.2.1.).

Como medida de prevención, la depuradora ha sido diseñada para la obtención de una purificación suficientemente holgada como para evitar el incumplimiento de la normativa.

#### 5.8.3.4. Paisaje y medio socioeconómico

La construcción de las edificaciones y los equipos necesarios para la depuradora de la fábrica presentará el problema de degradación paisajística del entorno. A fin de mitigar este problema se exponen las siguientes medidas correctoras:

- Finalizada la fase de explotación, se procurará el máximo restablecimiento de los caminos, obras, etc., que hayan podido ser deterioradas durante su transcurso.
- Se restablecerá la vegetación retirada de las áreas degradadas.
- Los acabados exteriores de los edificios presentarán tonalidades cromáticas acordes con las características del entorno.
- Se procederá a la siembra de las especies que fueron eliminadas durante la fase de construcción.

## 5.9. Seguridad

### 5.9.1. Estudio HAZOP

Se ha realizado el estudio HAZOP de toda la línea de aguas de la estación depuradora. El informe del estudio se muestra en las tablas siguientes.

Línea: DESDE V-101 HASTA P-105A/B				
PALABRA	VARIABLE	CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES

<b>MÁS</b>	FLUJO	Aumento de presión en V-101	Vaciado de V-101	Válvula de alivio de presión
<b>MENOS</b>	FLUJO	Sólidos acumulados obstruyendo flujo	Aumento de nivel de líquido en V-101	Controlador de nivel LSHH
<b>MÁS</b>	PRESIÓN	Compuestos volátiles en las aguas	Alteración de los parámetros estacionarios	Válvula de alivio de presión en V-101

<b>Línea: DESDE P-105A/B HASTA C-106</b>				
<b>PALABRA</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES</b>
<b>MÁS</b>	FLUJO	Bomba trabaja a mayor velocidad	Menor intercambio de calor	Abrir válvula de by-pass del intercambiador
<b>MENOS</b>	FLUJO	Bomba a menor velocidad	Mayor intercambio de calor	Comprobar tuberías. Incrementar bombeo.
<b>NO</b>	FLUJO	Fallo de bombas o tuberías	Bombas rotas	Detener bomba. Cerrar válvulas antes

		rotas		y después de bombas
<b>MÁS</b>	PRESIÓN	Bombas lentas	Mayor intercambio de calor	Aumentar velocidad de bomba
<b>MÁS</b>	TEMPERATURA	Aumento de las temperaturas ambientales	Excesivo calentamiento en intercambiador	Abrir by-pass. Reducir caudal de agua calefactora
<b>MENOS</b>	TEMPERATURA	Frío exterior	Insuficiente calentamiento	Cerrar by-pass. Aumentar caudal de agua calefactora

**Línea: DESDE C-106 HASTA R-107**

<b>PALABRA</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES</b>
<b>MENOS</b>	FLUJO	Pérdidas en el intercambiador	Intercambiador roto.	Detener. Cerrar Válvulas antes y después del intercambiador.

<b>MÁS</b>	PRESIÓN	Obstrucciones en intercambiador	Mayor presión de descarga en reactor	Limpieza de tubos intercambiador
<b>MENOS</b>	PRESIÓN	Disminución del flujo	Excesivo calentamiento	By-pass. Reducir entrada de agua calefactora
<b>MÁS</b>	TEMPERATURA	Excesivo calentamiento en C-106	Muerte de microorganismos. Disminuye eficacia reactor.	Airear la tubería
<b>MENOS</b>	TEMPERATURA	Escaso calentamiento en C-106	Disminución de la eficacia del reactor.	-

<b>Línea: DESDE R-107 HASTA R-109</b>				
<b>PALABRA</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES</b>
<b>MENOS</b>	FLUJO	Poco flujo de entrada al reactor.	Mayor descomposición anaerobia	-
<b>MÁS</b>	FLUJO	Mucho flujo a la entrada	Insuficiente tiempo de residencia en reactor	Reducir flujo de entrada



<b>NO</b>	FLUJO	Escaso nivel del líquido	Mayor descomposición anaerobia	Estabilizar el nivel de líquido
<b>MÁS</b>	PRESIÓN	Mucha producción de biogás	Aumento de la presión de descarga en reactor aerobio	Válvula de alivio en reactor. Antorcha.

Línea: DESDE R-109 HASTA P-113A/B				
PALABRA	VARIABLE	CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES
MENOS	FLUJO	Menor caudal de entrada al reactor	Mayor tiempo de residencia	-
NO	FLUJO	Escaso nivel de líquido	No hay alimentación a la bomba	Detener bomba
MENOS	TEMPERATURA	Frío exterior	Congelación de la superficie les agua	Sistema de HC

Línea: DESDE P-113A/B HASTA D-114				
PALABRA	VARIABLE	CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS DE SEGURIDAD Y RECOMENDACIONES
MÁS	FLUJO	Bomba trabaja a mayor	Menor eficacia en la decantación secundaria	Reducir velocidad de bomba

		velocidad		
<b>MENOS</b>	FLUJO	Bomba trabaja a menor velocidad	Posible no abastecimiento del decantador	Comprobar tuberías. Incrementar bombeo.
<b>NO</b>	FLUJO	Fallo de bombas o tuberías rotas	Bombas rotas	Detener bomba. Cerrar válvulas antes y después de bombas
<b>MÁS</b>	PRESIÓN	Demasiado flujo de agua residual.	Menor eficacia en la decantación secundaria	Reducir velocidad de la bomba
<b>MENOS</b>	PRESIÓN	Escaso flujo de agua residual	Posible no abastecimiento del decantador	Incrementar el bombeo.
<b>MENOS</b>	TEMPERATURA	Congelación de la línea	Daño en las tuberías	Sistema de W

### 5.9.2. Fichas técnicas de seguridad

En el anexo III se recogen las fichas técnicas de los reactivos utilizados.

## 5.10. Legislación

La instalación de la EDAR en la fábrica de levaduras llevará consigo el cumplimiento de una serie de responsabilidades de tipo, principalmente medioambiental. Hará falta tener en cuenta los documentos que se exponen a continuación.

Al inicio de la instalación de la EDAR será necesario cumplir los siguientes requisitos[37]:

- Disponer de la Declaración de Impacto Ambiental favorable emitida por la consejería de Medio Ambiente y cumplir los requisitos exigidos en la misma: Ley 6/2001.
- Disponer de la Autorización Ambiental Integrada emitida por la consejería de Medio Ambiente y cumplir los requisitos establecidos en la misma: Ley 16/2002, Art. 5.
- Solicitar la autorización de vertido a la red de saneamiento municipal.
- Presentar la Declaración de Producción de Aguas Residuales.

Durante el desarrollo de la actividad, habrá que tener en cuenta los requisitos siguientes:

- Satisfacer el canon de saneamiento.
- Presentar la Declaración de Producción de Aguas Residuales.
- Renovar la Autorización Ambiental Integrada cada 8 años: Ley 16/2002, Art 25.
- Notificar por medio del registro EPER las emisiones de determinadas sustancias contaminantes: Decisión 2000/479/CE

Se exponen a continuación los principales documentos oficiales referentes al vertido de aguas residuales que podrían afectar directa o indirectamente a una EDAR de una fábrica de levaduras emplazada en Valladolid cuyo vertido desemboca en la red de saneamiento municipal.

### 5.10.1. Europea

- Directiva 98/83/CE: relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.



- Directiva 91/676/CEE: relativa a los nitratos.
- Directiva del Consejo 91/271/CEE: relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Directiva 86/278/CEE: relativa a los lodos de la depuradora.
- Directiva 76/464/CEE: Contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas sobre el medio acuático.
- Directiva 86/280/CEE: Valores límite para determinadas sustancias peligrosas. Modifica Anexo de la Directiva 76/464/CEE.
- Directiva 91/271/CEE: Tratamiento de aguas residuales urbanas.
- **Directiva 2000/60/CE:** Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Decisión 2455/2001/CE: Modificación de la Directiva 2000/60/CE.
- Directiva 2006/11/CE: Relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad.
- Directiva 2008/32/CE: Modificación de la Directiva 2000/60/CE.
- Directiva 2008/105/CE: Modificación de la Directiva 2000/60/CE.
- Directiva 2009/31/CE: Modificación de la Directiva 2000/60/CE.
- Directiva 2009/90/CE: Se establecen las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas.

### 5.10.2. Española

- Orden del 11 de mayo de 1988: sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de agua superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable.
- Orden del 8 de febrero de 1988: relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de muestreos y análisis de aguas superficiales que se destinen a la producción de agua potable.
- Orden del 1 de julio de 1987: por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público.



- Orden del 23 de diciembre de 1986: por la que se dictan normas complementarias en relación con las autorizaciones de vertidos de aguas residuales.
- Real Decreto 849/1986: Se aprueba Reglamento del dominio público hidráulico.
- Orden del 16 de diciembre de 1988: relativa a los métodos y frecuencias de análisis o de inspección de las aguas continentales que requieran protección o mejora para el desarrollo de la vida psíquica.
- Decreto 2414/61: Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.
- Real Decreto Legislativo 1302/86: De evaluación de impacto ambiental.
- Real Decreto 849/86: Reglamento del dominio público hidráulico.
- Orden de 12/11/87: Objetivos de calidad y condiciones para el control de determinadas sustancias en los vertidos de aguas continentales.
- Real Decreto 927/88: Reglamento de la administración pública del agua y de la planificación hidrológica.
- Orden de 13/3/89: Modifica la Orden 12/11/87 incorporando objetivos de calidad para algunas sustancias contaminantes.
- Orden de 27/2/91: Modifica la Orden 12/11/87 determinando valores límite de emisión para los vertidos de HCH.
- Orden de 28/6/91: Amplía la Orden 12/11/87 sobre valores límite de emisión y objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes.
- Real Decreto 1315/1992: Modifica Reglamento de dominio público hidráulico.
- Orden de 25/5/92: Modifica la Orden 12/11/87.
- Real Decreto Ley 11/95: Tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 484/95: Medidas de regularización y control de vertidos.
- Real Decreto 509/96: Desarrolla el RDL 11/95.
- Real Decreto 2116/98: Modifica el RD 509/96.
- Real Decreto 1664/1998: por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.



- Resolución del 25 de mayo de 1998: de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas, por la que se declaran las «zonas sensibles» en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- Real Decreto 995/2000: Objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y modificación del Reglamento de dominio público hidráulico.
- Ley 6/2001: Modifica el RDL 1302/86 de evaluación de impacto ambiental.
- Real D. Legislativo 1/2001: Texto refundido de la Ley de aguas.
- Ley 10/2001: Plan Hidrológico Nacional.
- Ley 16/2002: Ley de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto 606/2003
- Real Decreto 140/2003
- Real Decreto 2090/2008: Se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007 de Responsabilidad Ambiental.
- Orden ARM/1312/2009: 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.
- Ley 22/2011: De residuos y suelos contaminados.
- Ley 5/2013: Se modifica la Ley 16/2002 y la Ley 22/2011. Se culmina la trasposición de la Directiva 2010/75/UE sobre las Emisiones Industriales.
- Real Decreto 815/2013: Se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002.

### 5.10.3. Autonómica Castilla y León

- Orden del 22 de julio de 2002
- Decreto 151/1994: por el que se aprueba el Plan Director de Infraestructura Hidráulica Urbana.
- Orden del 23 de diciembre de 1993: sobre creación del censo de plantas depuradoras de aguas residuales y utilización de lodos de depuración en el sector agrario.



#### 5.10.4. Municipal Valladolid

- Reglamento Municipal del 14 de marzo de 2006: Reglamento municipal de abastecimiento de agua potable y saneamiento (en el anexo III se recogen los límites de vertido).

## 6. Conclusiones

Este trabajo consistió en el diseño de una estación depuradora de aguas residuales destinada a una fábrica de levaduras. Con un caudal medio de 75 m<sup>3</sup>/día, se realizó la caracterización de las aguas, provenientes de los diferentes puntos del proceso de producción de levadura. Posteriormente se realizó un análisis de las posibles alternativas, escogiendo aquellas operaciones y equipos, más acordes con las características del agua a tratar. Hecho esto, se procedió a la elaboración de los planos y al diseño de los diferentes equipos presentes en la línea de aguas, así como de los más representativos del tratamiento de fangos. Finalmente, se realizaron los estudios económicos, de impacto ambiental y de seguridad. Se recopiló, además, la legislación oportuna en materia de aguas. A continuación, se exponen las conclusiones a las que se llegó en cada una de estas etapas del proyecto:

- Las aguas residuales provenientes de una fábrica de levaduras contienen contaminación, fundamentalmente, de tipo biológico con una DBO media de 5000 mg/L y una relación DBO/DQO de aproximadamente 0,7<sup>4</sup>, lo que la hace muy biodegradable. En lo que se refiere a los sólidos en suspensión, son de pequeñas dimensiones y fundamentalmente coloidales, por lo que resulta ineficaz una operación de desbaste. Sus concentraciones son las siguientes: SSS = 55 mg/L, SSV = 3505 mg/L.
- Las selección que se ha hecho de las operaciones es la siguiente:
  - Pretratamiento:
    - **Homogeneización** con ajuste de pH y de nutrientes (necesarios para el tratamiento biológico).
    - Ajuste de temperatura en **intercambiador de carcasa y tubos**.
  - Tratamiento biológico

---

<sup>4</sup> Según los datos aportados por una fábrica de levaduras a fecha 3/9/2015.



- Tratamiento anaerobio en **reactor UASB** con producción de biogás.
  - Tratamiento aerobio con nitrificación/desnitrificación. La digestión aerobia de **fangos activos** se lleva a cabo en un tanque con aireación.
  - **Decantador final**, donde se clarifica el agua que va a ser vertida a la red de alcantarillado. Se separan los lodos, que se llevan al tratamiento de fangos y, parte de ellos, se recirculan al reactor aerobio para la recuperación de microorganismos.
- Tratamiento de fangos: se lleva a cabo en un **filtro de bandas**. El floculante seleccionado es un polielectrolito que se prepara en disolución (FLOPAM™ AN 900 SH y FLOPAM™ FO 4.000 SH).
- Tratamiento de biogás: se utiliza un **motor de cogeneración** a fin de aprovechar energéticamente los gases producidos en el reactor UASB, obteniendo energía eléctrica. También se aprovecha la combustión de estos gases para el calentamiento del fluido para el intercambiador de calor.
- Los equipos seleccionados para la línea de aguas, para el caudal medio de 75 m<sup>3</sup>/h (se ha diseñado para un caudal máximo de 100 m<sup>3</sup>/h) son los siguientes:
  - Un **tanque de homogeneización** de sección circular con un volumen de 100 m<sup>3</sup>, altura de 6,04 m y 5,03 m de diámetro. El sistema de agitación mecánica supone un consumo energético de 3,4 kW.
  - Un **intercambiador de calor de carcasa y tubos** tipo BEM (TEMA) con agua a 40°C como fluido calefactor. El intercambiador está diseñado para lograr una temperatura en el agua residual de 30°C a la salida para una entrada de 5°C. El reactor UASB dispone de un controlador automático de la temperatura que actúa sobre el caudal de fluido calefactor a ser utilizado en el intercambiador.
  - Un **reactor UASB** con un rendimiento de eliminación de DBO del 90 %. El volumen del reactor es de 1008,4 m<sup>3</sup> con un TRH de 10,08 horas. El



reactor es de sección cuadrada de un área de  $100 \text{ m}^2$ . La altura es de  $10,08 \text{ m}$ .

- Un **mezclador estático** con un diámetro interno de  $5''$  y cuatro elementos internos.
- Un **reactor de fangos activos** con un rendimiento de eliminación de DBO del  $95\%$ . El volumen del reactor es de  $2000,5 \text{ m}^3$  con un TRH de  $20,09$  horas. El reactor es de sección rectangular con una anchura de  $12,9 \text{ m}$ , longitud de  $25,8 \text{ m}$  y altura de  $6 \text{ m}$ . Consta de difusores de aire en su base para la aireación, necesaria en el proceso.
- Un **decantador secundario** con una altura de  $4 \text{ m}$  y un diámetro de  $13 \text{ m}$ . Con  $530,93 \text{ m}^3$  de capacidad, una carga de sólidos de  $3,33 \text{ kg/m}^2\text{h}$  y una carga sobre vertedero de  $2,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . La relación de recirculación de los fangos es del  $38,56\%$ .
- **Dos pares (en spare) de bombas centrífugas** para el transporte de las aguas desde el tanque de homogeneización al reactor UASB (NPSH =  $4,13 \text{ m}$  y  $P = 3,82 \text{ kW}$ ) y desde el reactor de fangos activos al decantador secundario (NPSH =  $4,12 \text{ m}$  y  $P = 2,34 \text{ kW}$ ).
- En el estudio económico, se han obtenido unos costes de explotación y mantenimiento de  $187.881,92 \text{ €/año}$ , lo que resulta en  $0,27 \text{ €/m}^3$  de agua residual. El beneficio ambiental se ha estimado en  $1.534.391,26 \text{ €/año}$ .
- En la evaluación medioambiental, se han identificado los posibles impactos que pueden producir durante las fases de construcción, explotación y clausura de la depuradora. Los impactos ambientales más importantes que se consideran son:
  - La **generación de ruido**, el posible **levantamiento de polvo** y la **destrucción de vegetación** durante las fases de construcción y de clausura.
  - El riesgo de **contaminación de la hidrología** en el caso de que el vertido no cumpla la normativa, durante la fase de explotación.



- En el estudio HAZOP de seguridad no se consideran riesgos de un grado elevado en la línea de aguas. No obstante, cabe tener en cuenta los riesgos de la utilización del biogás como fuente de energía eléctrica y su combustión para generar energía calorífica.

-



## 7. Bibliografía

- [1] J. Aunión, «<http://sociedad.elpais.com/>,» 17 Agosto 2014. [En línea]. Available: [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/08/08/actualidad/1407524357\\_433831.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/08/08/actualidad/1407524357_433831.html). [Último acceso: 2 Marzo 2016].
- [2] H. Rizvi, N. Ahmad y F. Abbas, «Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance,» 2015.
- [3] V. N. Nkemka y M. Murto, «Evaluation of biogas production from seaweed in batch tests and in UASB reactors combined with the removal of heavy metals,» 2010.
- [4] R. Marín Galvín, F. J. Rojas Moreno y F. J. Rojas Moreno, «Depuración de vertidos orgánicos de alta carga: aplicación de la tecnología UASB al tratamiento de las vinazas de una fábrica de levaduras (Córdoba),» 2005.
- [5] Iberdrola, Ingeniería y Construcción, «Estudio de impacto ambiental del proyecto de línea eléctrica a 220kV E/S en la ST el Serrallo de la L/ La Plana - El Ingenio (Provincia de Castellón),» 2012.
- [6] S. Hencké, *Utilisation alimentaire des levures*, Nancy, 2000.
- [7] Instituto Nacional de Estadística, «Estadísticas e indicadores del agua,» 2008.
- [8] N. L. Nemerow y A. Dasgupta, de *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*.
- [9] D. A. H. Muñoz, «Rejillas de desbaste,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 244-263.
- [10] D. A. H. Muñoz, «Desarenado - Consideraciones generales,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 277-304.
- [11] D. A. H. Muñoz, «Eliminación de residuos de pretratamiento,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 314-322.

- [12] D. A. H. Muñoz, «Depuración física - decantación,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 323-448.
- [13] D. A. H. Muñoz, «Biodegradabilidad del efluente,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, p. 474.
- [14] J. A. Rodríguez, «Tratamiento anaerobio de aguas residuales,» Cali, 2003.
- [15] D. A. H. Muñoz, «Biodiscos y biocilindros,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 548-566.
- [16] D. A. H. Muñoz, «Fangos activos,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 569-711.
- [17] D. A. H. Muñoz, «Tratamiento, uso y eliminación de fangos,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 719-940.
- [18] E. H. Trubnick y W. Rudolfs, *Treatment of compressed yeast effluents*, American Chemical Society, 1950.
- [19] N. L. Nemerown y A. Dasgupta, «Aguas residuales de destilerías industrias cerveceras, vínicas y farmacéuticas,» de *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*, Díaz de Santos, 1998, pp. 452-457.
- [20] Comisión Nacional del Medio Ambiente, «Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Fabricación de levaduras,» Santiago de Chile, 1998.
- [21] Cadagua, S.A., «Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.I.),» 2014.
- [22] Ayuntamiento de Valladolid, *Reglamento del servicio municipal de abastecimiento de agua potable y saneamiento*, Valladolid, 2006.
- [23] Agencia estatal de Meteorología, «[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org),» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Valladolid>. [Último acceso: 18 diciembre 2015].
- [24] B. Fadregas, *Diseño y explotación de una Edar para una industria de levadura*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2005.
- [25] R. H. Perry y D. W. Green, «Industrial Wastewater management,» de *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, McGraw-Hill, 1997, pp. 25.58-25.80.
- [26] R. K. Sinnott, «Piping and instrumentation,» de *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6*, Elsevier, 2005, pp. 194-241.
- [27] R. H. Perry y D. W. Green, «Heat-transfer equipment,» de *Perry's Chemical*

*Engineers' Handbook*, McGraw-Hill, 1997, pp. 11.1-11.118.

- [28] R. K. Sinnott, «Heat-transfer Equipment,» de *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6*, Elsevier, 2005, pp. 634-793.
- [29] J. F. Coronel Toro, «Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor,» septiembre 2014. [En línea]. Available: [http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion\\_tablas\\_graficas\\_TC.pdf](http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf). [Último acceso: 28 enero 2016].
- [30] M. Rojo Choya, «Planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la producción de biodiesel,» Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid, 2015.
- [31] F. F. Polanco, «<http://www.slideshare.net/>,» 2 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/AngeloStevenGeronimo/digestion-anaerobia-fernandez-polanco>. [Último acceso: 2 Febrero 2016].
- [32] R. K. Sinnott, «Equipment Selection, Specification and Design,» de *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6*, Elsevier, 2005, pp. 400-492.
- [33] D. A. H. Muñoz, «Filtro Banda,» de *Depuración de aguas residuales*, Madrid, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), 1998, pp. 907-909.
- [34] SNF Floerger, «[www.snf-group.com](http://www.snf-group.com/),» [En línea]. Available: [http://www.snf-group.com/images/pdf/Brochures\\_in\\_English/Sludge%20Dewatering%20E.pdf](http://www.snf-group.com/images/pdf/Brochures_in_English/Sludge%20Dewatering%20E.pdf). [Último acceso: 20 Febrero 2016].
- [35] Aguas de Valladolid, S.A., «[www.aguasdevalladolid.com](http://www.aguasdevalladolid.com/),» 2014. [En línea]. Available: [http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/Tarifas\\_agua\\_2014.pdf](http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/Tarifas_agua_2014.pdf). [Último acceso: 20 febrero 2016].
- [36] Instituto superior del medio ambiente, «[www.ismedioambiente.com](http://www.ismedioambiente.com/),» [En línea]. Available: <http://www.ismedioambiente.com/paginas/el-potencial-fertilizante-y-economico-de-los-lodos-de-depuradora-para-los-cultivos-agricolas>. [Último acceso: 20 febrero 2016].
- [37] Institut Valencià de Competitivitat Empresarial (IVACE), «[www.impiva.es](http://www.impiva.es/),» 2003. [En línea]. Available: [http://www.impiva.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=390:collecciones-cuadernos&catid=75&lang=es&Itemid=100454](http://www.impiva.es/index.php?option=com_content&view=article&id=390:collecciones-cuadernos&catid=75&lang=es&Itemid=100454). [Último acceso: 23 febrero 2016].
- [38] C. Europea, *Directiva 2000/60/CE*, 2000.
- [39] N. L. Nemerow y A. Dasgupta, «Homogeneización y proporcionalidad,» de *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*, Díaz de Santos, 1998, pp. 121-125.



Estación depuradora de aguas residuales en una fábrica de  
levaduras  
Bibliografía





## Anexos




## Anexo I




## I.1. Hojas de especificaciones de equipos




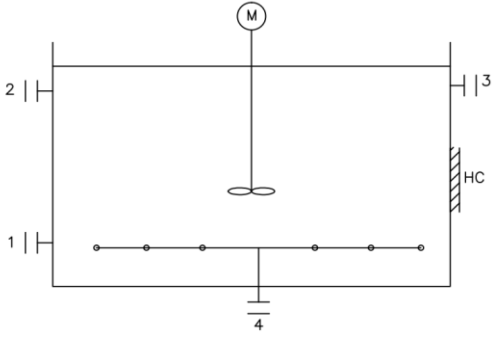



 Universidad de Valladolid						<b>PUMP</b> <b>PROCESS DATA SHEET</b>					
REV.	1	2				JOB Nº	-				
DATE	10-2-16	20-2-16				UNIT	-				
BY	CC	CC				CLIENT	-				
APPR'V						LOCATION	-				
REV.											
1	ITEM NUMBER					P-104					
2	SERVICE					Transporte de agua residual					
3	TYPE					Centrifugal					
4	NO. OF PUMPS					2					
5	IN OPERATION					1					
6	SPARE					1					
7	DRIVER					MOTOR		eléctrico			
8						TURBINE		-			
9						OTHERS		-			
10	LIQUID PUMPED					Agua residual					
11	OPERATING CASE					Design					
12	PUMPING TEMPERATURE (T)				°C	30					
13	VISCOSITY (@ T)				cP	1					
14	VAPOR PRESSURE (@ T)				bar a	-					
15	DENSITY (@ T)				kg/m <sup>3</sup>	1000					
16											
17	NORMAL CAPACITY				m <sup>3</sup> /h	75					
18	DESIGN CAPACITY				m <sup>3</sup> /h	100					
19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design				bar g	1	1				
20	SUCTION PRESSURE Normal/Design				bar g	1,93	2,03				
21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design				Bar	0,93	1,03				
22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design				m	9,530	10,530				
23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design				m	3,920	4,130				
24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE				bar g	4,09					
25	SHUT-OFF PRESSURE				bar g	5,33					
26	DUTY (Continuous/Intermittent)					Continuos					
27	MINIMUM CIRCULATION FLOW					-					
28	CORROSION OR EROSION DUE TO					-					
29	SOLIDS IN SUSPENSION					-					
30	LOCATION (Indoors/Outdoors)					Exterior					
31	HIDRAULIC POWER @ Design flow				W	3823,48					
32	CONSTRUCTION MATERIALS					CASE		Stainless steel 316L			
33						IMPELLER		Stainless steel 316			
34						SHAFT		Stainless steel 316			
35	<b>NOTES</b>										
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											

 <b>Universidad de Valladolid</b>						<b>HEAT EXCHANGER PROCESS DATA SHEET</b>					
REV.	1	2				JOB Nº					
DATE	16/02/2016	19-2-16				UNIT					
BY	CC	CC				CLIENT					
APPR'V						LOCATION	VALLADOLID				
REV.											
1	ITEM NUMBER					C-106		QUANTITY		1	
2	SERVICE					Calentamiento del agua residual / acondicionamiento para trat. anaerobio					
3	OPERATING CASE					10% Overdesign					
4	TEMA Type					BEM	Units	SHELL SIDE		TUBE SIDE	
5	FLUID CIRCULATED					Agua					
6	FLOW		TOTAL.			Normal (Máx.)	kg/h	92232		100000	
7	Gas										
8	Liquid					92232					
9	Steam										
10	Incondensables										
11	Vaporized or condensate										
12	Steam or condensate					214,53					
13	LIQUID DENSITY (Inlet/Outlet)					kg/m <sup>3</sup>	992,4	997,9	1004	996,2	
14	VISCOSITY-LIQUID (Inlet/Outlet)					kN·s/m <sup>2</sup>	0,6533	0,8901	1,506	0,7976	
15	MOLECULAR WEIGHT-GAS (Inlet/Outlet)										
16	SPECIFIC HEAT (Inlet/Outlet)					kcal/kg °C	0,9979	0,9977	1,0036	0,9974	
17	ENTHALPY (Inlet/Outlet)					KJ/Kg	1308,03	1245,07	1168,5	1265,65	
18	THERMAL CONDUCTIVITY					W/m·K	0,6307	0,608	0,5748	0,616	
19	SURFACE TENSION					dyna/cm					
20	TEMPERATURE		INLET			°C	40		5		
21	TEMPERATURE		OUTLET			°C	25		30		
22	OPERATING PRESSURE (Normal, Inlet)					barg	1,5		1,5		
23	ALLOWABLE PRESSURE DROP					bar	0,04		0,04		
24	FOULING FACTOR					h m <sup>2</sup> °C/kcal	0,05		0,0033		
25	DUTY					kW	2698,53				
26	SURFACE OVERDESIGN					%	10				
27	DESIGN CONDITIONS										
28	PRESSURE					barg	2		2		
29	TEMPERATURE					°C	50		40		
30	MATERIALS										
31	Shell and cover					carbon steel	Tubes		stainless steel		
32	Floating head and cover					Channel and cover					
33	Fixed tubesheet					Floating tubesheet					
34	Wear plate					Baffles		stainless steel			
35	Joint type					Gaskets					
36	CORROSION ALLOWANCE					Shell side	2 mm	Tube side	0,5 mm		
37	NOZZLES					Shell side	Inlet	5 inch	Outlet	5 inch	
38						Tube side	Inlet	5 inch	Outlet	5 inch	
39											
40	CODE REQUIREMENTS					TEMA	BEM				
41	NOTES										
42											
43											
44											
45											
46											



 <b>Universidad de Valladolid</b>				<h2 style="margin: 0;">VESSEL PROCESS DATA SHEET</h2>			
REV.	1	2	3		JOB Nº		
DATE	10-feb	18-feb	21-feb		UNIT		
BY	CC	CC	CC		CLIENT		
APPRV					LOCATION	VALLADOLID	
REV.							
1	Item Number: R-109		Quantity: 1				
2	Service: Reactor aerobio						
3	Fluid: Agua residual						
4	Volume 2000,5 m <sup>3</sup>						
5							
6	Jacket diameter (ID)	mm	Height (TL-TL)	6	m		
7	Tube diameter (ID)	mm	Length	12,9x25,8	m		
8							
9			PRESSURE bar g		TEMPERATURE °C		
10			Operating	Design	Operating	Design	
11			0	3,5	30	30	
12							
13							
14							
15			MATERIAL		CORR. ALLOW.		
16	Shell	Standard Steel		3	mm		
17	Heads	Standard Steel		3	mm		
18	Tubes	Standard Steel		3	mm		
19							
20							
21	Head type						
22	Catalyst weight Kg						
23	Composition						
24	Porosity						
25	Insulation:	Type	Heat conservation				
26		Thickness	40 mm				
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34	NOZZLES						
35	Mark Nº	Quantity	Size(")	Service			
36	1	1	0,2	Nozzle transmisor de O2			
37	2	1	3	Entrada recirculación			
38	3	1	5	Salida efluente			
39	4	1	6	Entrada aire			
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							



 Universidad de Valladolid						<b>PUMP</b> <b>PROCESS DATA SHEET</b>					
REV.	1	2				JOB Nº	-				
DATE	10-02-16	20-02-16				UNIT	-				
BY	CC	CC				CLIENT	-				
APPR'V						LOCATION	-				
REV.											
1	ITEM NUMBER					P-113					
2	SERVICE					Transporte de agua residual					
3	TYPE					Centrifugal					
4	NO. OF PUMPS					2					
5	IN OPERATION					1					
6	SPARE					1					
7	DRIVER					MOTOR		eléctrico			
8						TURBINE		-			
9						OTHERS		-			
10	LIQUID PUMPED					Agua residual					
11	OPERATING CASE					Design					
12	PUMPING TEMPERATURE (T)					°C	30				
13	VISCOSITY (@ T)					cP	1				
14	VAPOR PRESSURE (@ T)					bar a	-				
15	DENSITY (@ T)					kg/m <sup>3</sup>	1000				
16											
17	NORMAL CAPACITY					m <sup>3</sup> /h	75				
18	DESIGN CAPACITY					m <sup>3</sup> /h	100				
19	DISCHARGE PRESSURE Normal/Design					bar g	1	1			
20	SUCTION PRESSURE Normal/Design					bar g	1,93	2,03			
21	DIFFERENTIAL PRESSURE Normal/Design					Bar	0,93	1,03			
22	DIFFERENTIAL HEAD Normal/Design					m	9,530	10,530			
23	NPSH MINIMUM AVAILABLE Normal/Design					m	3,920	4,130			
24	MAXIMUM SUCTION PRESSURE					bar g	4,09				
25	SHUT-OFF PRESSURE					bar g	5,33				
26	DUTY (Continuous/Intermittent)					Continuos					
27	MINIMUM CIRCULATION FLOW					-					
28	CORROSION OR EROSION DUE TO					-					
29	SOLIDS IN SUSPENSION					-					
30	LOCATION (Indoors/Outdoors)					Exterior					
31	HIDRAULIC POWER @ Design flow					W	3823,48				
32	CONSTRUCTION MATERIALS					CASE		Stainless steel 316L			
33						IMPELLER		Stainless steel 316			
34						SHAFT		Stainless steel 316			
35	<b>NOTES</b>										
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											



## I.2. Lista de líneas

DN	Sch.	Nº de Línea	Extremos de líneas		Fase	Estado	Condiciones de diseño		Condiciones de operación		Densidad	Flujo	Velocidad	Material
(inch)		Clase de tubería	De	A			p (barg)	T(°C)	p (barg)	T(°C)	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	m/s	
3 1/3	40	AR-00A-150B4-W40	Entrada	V101	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	50	2,18	Acero inox.
2 1/2	40	AR-00B-150B4-W40	Entrada	V101	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	25	2,25	Acero inox.
2 1/2	40	AR-00C-150B4-W40	Entrada	V101	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	25	2,25	Acero inox.
5	40	AR-01-150B4-W40	V101	P105	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	100	2,15	Acero inox.
5	40	AR-02-150B4-W40	P105	C106	Líquido	Agua Residual	2,5	12,7	1	12,7	1000	100	2,15	Acero inox.
5	40	AR-03-150B4-HC40	C106	R107	Líquido	Agua Residual	2,5	30	1	30	1000	100	2,15	Acero inox.
5	40	AR-04-150B4-HC40	R107	M108	Líquido	Agua Residual	1	30	0	30	1000	99,59	2,14	Acero inox.
5	40	AR-05-150B4-HC40	M108	R109	Líquido	Agua Residual	1	30	0	30	1000	99,59	2,14	Acero inox.
5	40	AR-06-150B4-W40	R109	P113	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	99,59	2,14	Acero inox.
5	40	AR-07-150B4-W40	P113	D114	Líquido	Agua Residual	1,5	12,7	1	12,7	1000	99,59	2,14	Acero inox.
5	40	AR-08-150B4-W40	D114	Salida	Líquido	Agua Residual	1	12,7	0	12,7	1000	93,98	2,02	Acero inox.
3 1/3	40	FF-09-150B4-W40	D114	T	Líquido	Fangos	1	12,7	0	12,7	1005	44	1,92	Acero inox.
3	40	FF-10-150B4-W40	T	R109	Líquido	Fangos		12,7		12,7	1005	38,4	2,24	Acero inox.
	40	R1-11-150B4-W40	V102	V101	Líquido	Reactivo 1		12,7		12,7		-	-	Acero inox.
1	40	R2-12-150B4-W40	V103	V101	Líquido	Reactivo 2		12,7		12,7		-	-	Acero inox.
1	40	R3-13-150B4-W40	V104	V101	Líquido	Reactivo 3		12,7		12,7		-	-	Acero inox.
5	40	AP-14-150B4	C205	C-106	Líquido	Agua de proceso		40		40	1000	92,23	1,98	Acero inox.
5	40	AP-15-150B4	C106	C205	Líquido	Agua de proceso		25		25	1000	92,23	1,98	Acero inox.
1	40	R2-16-150B4-W40	V103	M108	Líquido	Reactivo 2		20		20		-	-	Acero inox.
1	40	R3-17-150B4-W40	V104	M108	Líquido	Reactivo 3		12,7		12,7		-	-	Acero inox.
6	40	A-18-150B4	M111	R109	Gas	Aire		12,7		12,7	1,2	751,55	11,2	Acero inox.
1	40	R4-19-150B4-W40	V112	R109	Líquido	Reactivo 4		12,7		12,7		-	-	Acero inox.
4	40	BG-20-150B4	R107	M201	Gas	Biogás		30		30	0,717	425	14,37	Acero inox.
4	40	BG-21-150B4	M201	M202	Gas	Biogás		30		30	0,717	425	14,37	Acero inox.
4	40	BG-22-150B4	M202	T	Gas	Biogás		30		30	0,717	425	14,37	Acero inox.
3	40	BG-23-150B4	T	M203	Gas	Biogás		30		30	0,717	212,5	12,38	Acero inox.
3 1/3	40	BG-24-150B4	T	M204	Gas	Biogás		30		30	0,717	340	14,81	Acero inox.
3 1/3	40	BG-25-150B4	M204	M205	Gas	Biogás		30		30	0,717	340	14,81	Acero inox.
3 1/3	40	BG-26-150B4	M205	M206	Gas	Biogás		30		30	0,717	340	14,81	Acero inox.
1 1/4	40	FF-30-150B4-W40	T	P301	Líquido	Fangos		12,7		12,7	1005	5,6	1,61	Acero inox.
1 1/4	40	FF-31-150B4-W40	P301	M302	Líquido	Fangos		12,7		12,7	1005	5,6	1,61	Acero inox.
1	40	PE-32-150B4-W40	V306	V305	Líquido	Polielectrolito		12,7		12,7				Acero inox.
1	40	AP-33-150B4-W40	AP	V305	Líquido	Agua de proceso		12,7		12,7	1000			Acero inox.
1	40	DPE-34-150B4-W40	V305	P304	Líquido	Disol. Polielect.		12,7		12,7				Acero inox.
1	40	DPE-35-150B4-W40	P304	M302	Líquido	Disol. Polielect.		12,7		12,7				Acero inox.

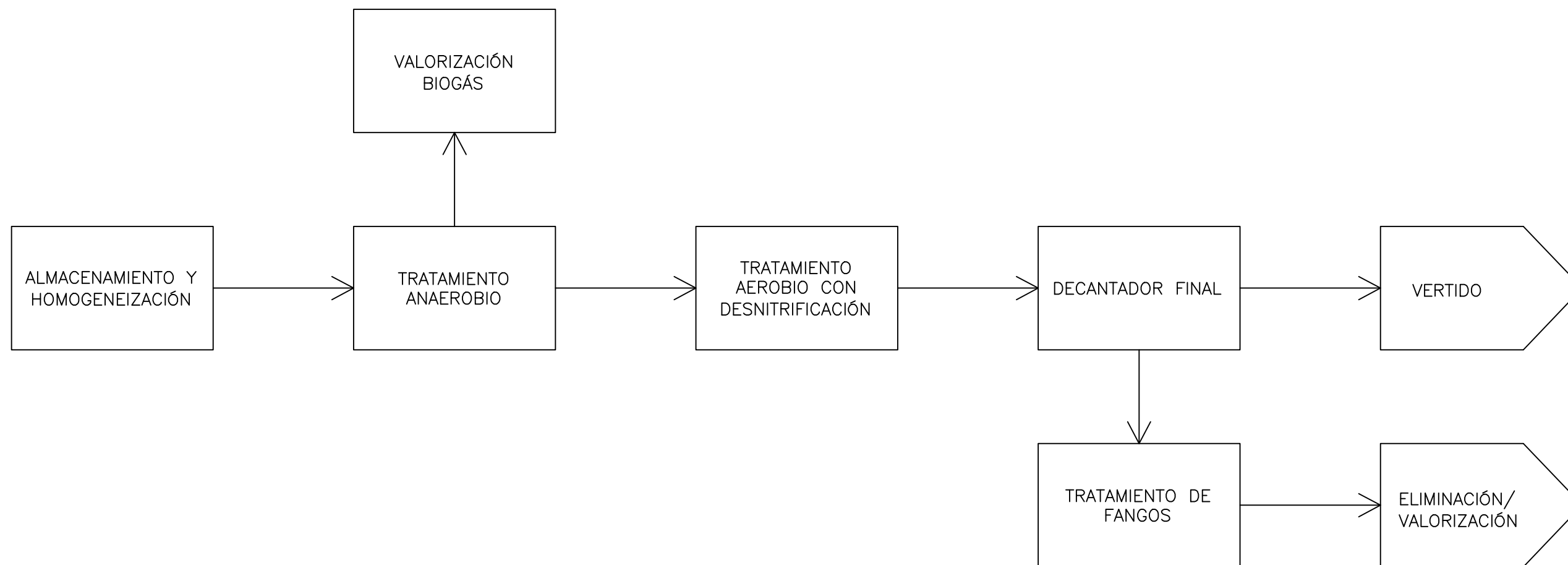


## Anexo II





## II.1. Diagrama de bloques



 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TITULO PROYECTO:		
EDARI DE UNA FÁBRICA DE LEVADURAS		
PLANO:	N° PLANO:	
BLOCK DIAGRAM	1	
AREA:	FECHA:	REVISIÓN:
PROYECTO ING. QUÍMICA	FEB-2016	2
PROMOTOR:		
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Carles G. Castell Ros-Zanet	



## II.2. Diagrama de proceso

V-101: TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN  
 V-102: TANQUE DE ALMACENAMIENTO REACTIVO  
 V-103: TANQUE ALMACENAMIENTO REACTIVO

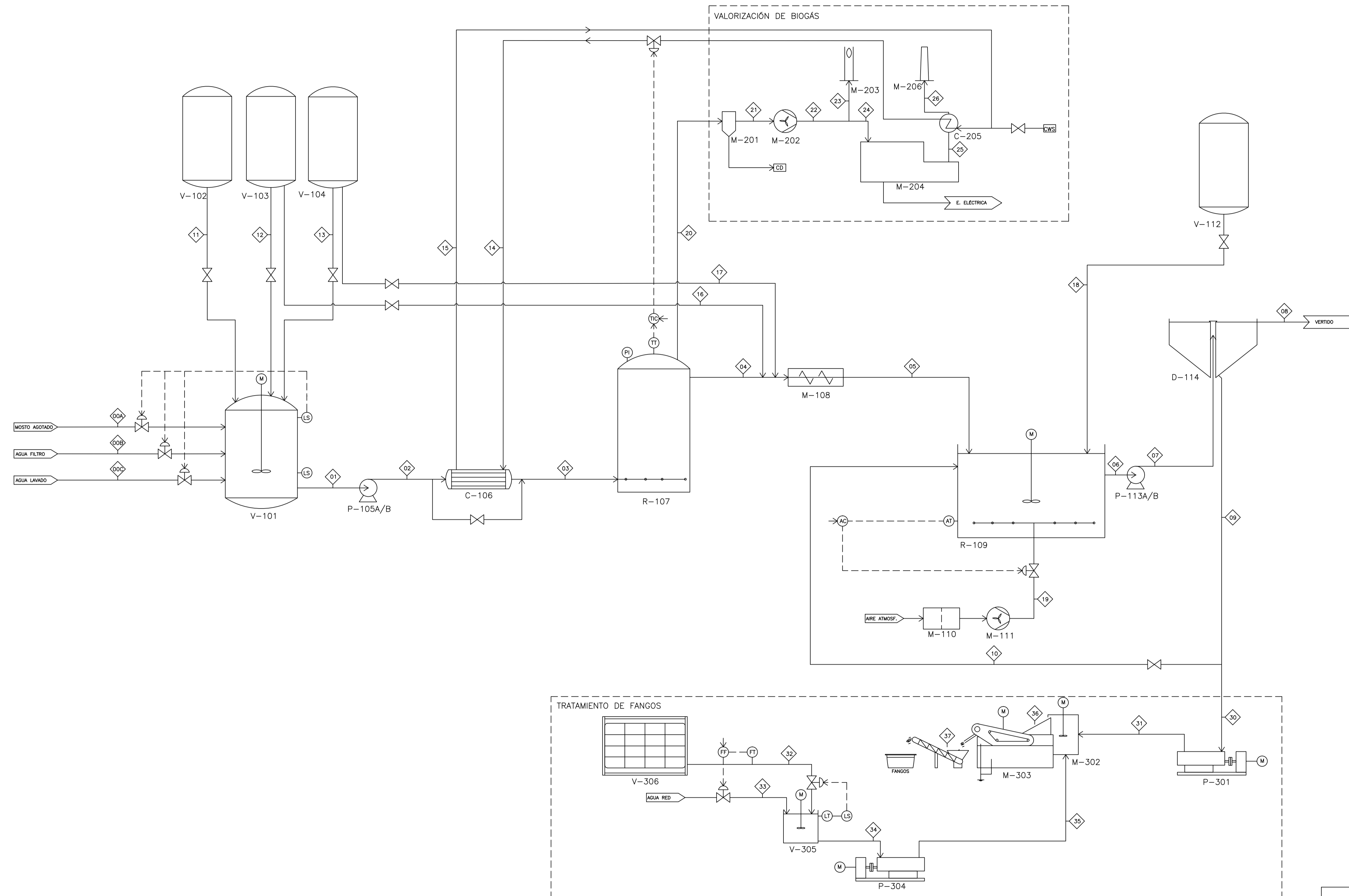
V-104: TANQUE DE ALMACENAMIENTO REACTIVO  
 P-105A/B: BOMBA CENTRÍFUGA  
 C-106: INTERCAMBIADOR DE CALOR CARCASA Y TUBOS

R-107: REACTOR ANAEROBIO UASB  
 M-108: MEZCLADOR ESTÁTICO

M-201: PURGADOR DEL CONDENSADO  
 M-202: COMPRESOR DE GAS  
 M-203: ANTORCHA

M-206: CHIMENEA GASES COMBUSTIÓN  
 C-205: INTERCAMBIADOR DE CALOR  
 M-204: MOTOR DE COGENERACIÓN

V-112: TANQUE DE ALMACENAMIENTO REACTIVO  
 P-113A/B: BOMBA CENTRÍFUGA  
 D-114: DECANTADOR FINAL



V-306: TANQUE ALMACENAMIENTO POLIELECTROLITO  
 V-305: TANQUE BUFFER  
 P-304: BOMBA DESECADORA

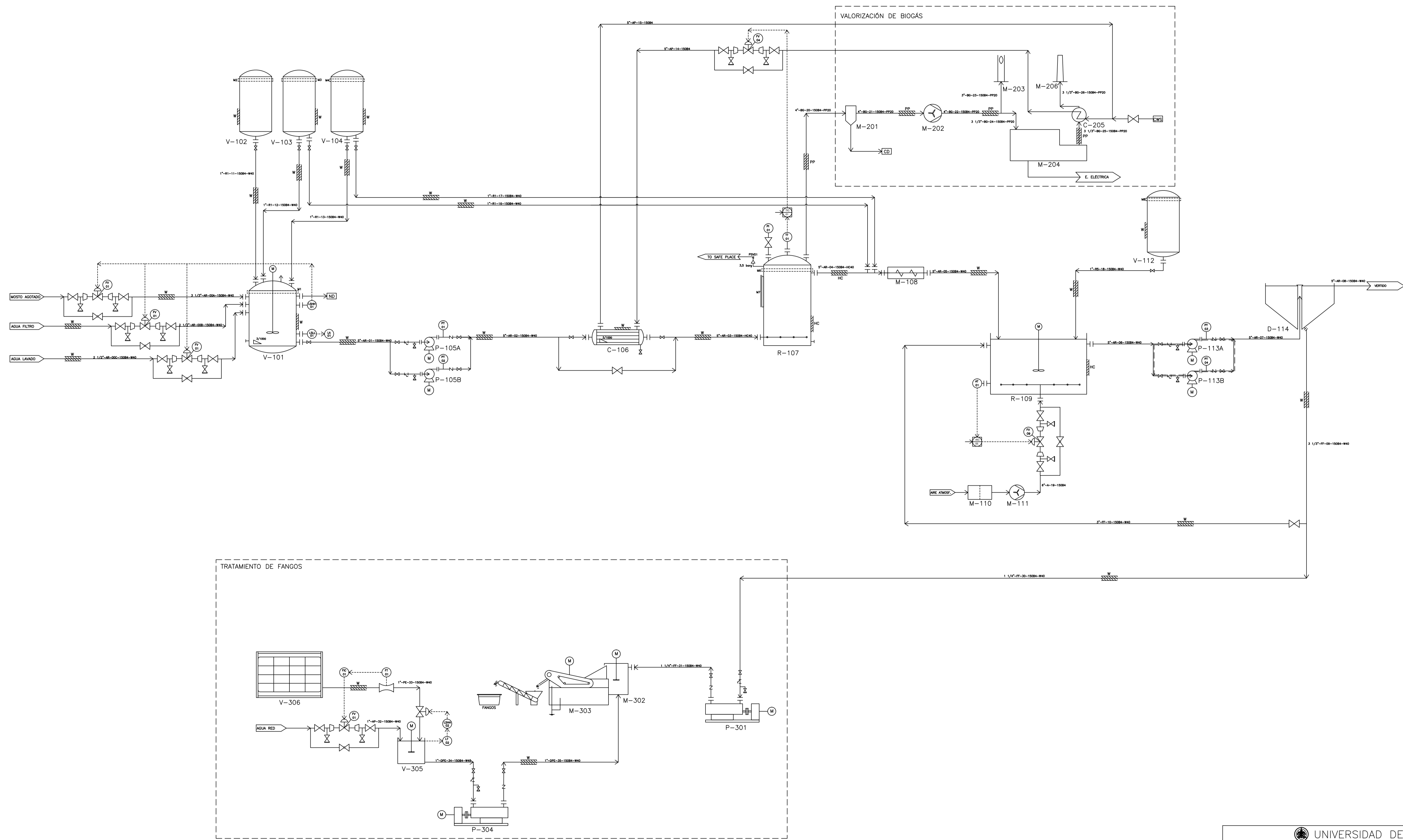
M-303: FILTRO DE BANDAS  
 M-302: MEZCLADOR

R-111: REACTOR AEROBIO DE MEZCLA COMPLETA  
 M-113: COMPRESOR DE GAS  
 M-112: FILTRO DE AIRE  
 P-301: BOMBA DESECADORA

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
TÍTULO PROYECTO:		
EDARI DE UNA FÁBRICA DE LEVADURAS		
PLANO:	PFD	N° PLANO: 1
AREA:	PROYECTO ING. QUÍMICA	FECHA: FEB-2016
PROMOTOR:	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	REVISIÓN: 4
		Carles G. Castell Ros-Zanet



### II.3. Diagrama P&I



LISTA DE EQUIPOS

V-101
V-102
V-103
V-104
P-105 A/B
C-106
R-107
M-108
R-109
M-110
M-111
V-112
P-113 A/B
D-114
M-201
M-202
M-203
M-204
C-205
M-206
P-301
M-302
M-303
P-304
V-305
V-306

Tag:	V-101	Tag:	P-105 A/B	Tag:	C-106	Tag:	R-107	Tag:	R-109	Tag:	P-113 A/B	Tag:	D-114
V (m3):	100,00	Q(m3/h):	75,00	Duty (kW/h):	2610,66	V (m3):	1008,4	V (m3):	2000,15	Q(m3/h):	99,59	Q(m3/h):	99,59
Operation T (°C):	20,00	ΔP(bar):	1,03	L (mm):	2440,00	Design P (bar):	3,50	Design P (bar):	3,50	ΔP(bar):	0,63	v (m3):	530,93
Operation P (bar):	0,00	Type:	Centrifugal	Design T (°C):	50,00	Design T (°C):	30,00	Design T (°C):	30,00	Type:	Centrifugal	Carga sól. (kg/m2h)	3,33
Material:	Carbon steel			Design P (bar):	2,00	Material:	Standard steel	Material:	Standard steel			Carga vert. (m3/m2h)	2,30

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

TITULO PROYECTO:  
EDARI DE UNA FÁBRICA DE LEVADURAS

PLANO: P&ID	Nº PLANO: 1	
AREA: PROYECTO ING. QUÍMICA	FECHA: FEB-2016	REVISIÓN: 1
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	Carles G. Castell Ros-Zanet	



## Anexo III



## Hojas de seguridad



**HIDRÓXIDO DE SODIO**

**ICSC: 0360**  
Mayo 2010

CAS: 1310-73-2 Sosa cáustica  
 NU: 1823 Hidrato de sodio  
 CE Índice Anexo I: 011-002-00-6 Sosa  
 CE / EINECS: 215-185-5 NaOH  
 Masa molecular: 40.0



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
<b>EXPOSICIÓN</b>		<b>¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!</b>	<b>¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!</b>
<b>Inhalación</b>	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras 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.
<b>Ingestión</b>	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.	No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H3; F0; R1	Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010



**HIDRÓXIDO DE SODIO**

**ICSC: 0360**

**DATOS IMPORTANTES**

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas

**PELIGROS QUÍMICOS**

La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).

**LÍMITES DE EXPOSICIÓN**

TLV: 2 mg/m<sup>3</sup> (Valor techo) (ACGIH 2010).  
MAK: Ilb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

Efectos locales graves

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

Punto de ebullición: 1388°C  
Punto de fusión: 318°C  
Densidad: 2.1 g/cm<sup>3</sup>

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).

**DATOS AMBIENTALES**

Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

**NOTAS**

El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro n° NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-EC: 2 mg/m<sup>3</sup>

**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

<b>DIHIDRÓGENO FOSFATO DE POTASIO</b>	<b>ICSC: 1608</b>
<b>Octubre 2005</b>	

Fosfato potásico, monobásico  
Ácido fosfórico, sal monopotásica

<b>CAS:</b>	7778-77-0	<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>
<b>RTECS:</b>	TC6615500	<b>Masa molecular: 136,1</b>
<b>CE / EINECS:</b>	231-913-4	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	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.
<b>EXPLOSIÓN</b>			

EXPOSICIÓN			
<b>Inhalación</b>	Tos.	Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
<b>Piel</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
<b>Ojos</b>	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.
<b>Ingestión</b>	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/cm<sup>3</sup>

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

### COLORURO DE AMONIO

**ICSC: 1051**

**Diciembre 2000**

Cloruro amónico  
Sal de amoníaco

**CAS:** 12125-02-9 **NH<sub>4</sub>Cl**  
**RTECS:** BP4550000 **Masa molecular: 53,5**  
**CE Índice Anexo I:** 017-014-00-8  
**CE / EINECS:** 235-186-4

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	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.
<b>EXPLOSIÓN</b>			

EXPOSICIÓN			
<b>Inhalación</b>	Tos. Dolor de garganta.	Usar ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>	Náuseas. Dolor de garganta. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: respirador con filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Eliminar el residuo con agua abundante.	<b>Clasificación UE</b> Símbolo: Xn R: 22-36 S: (2)-22
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H1; F0; R0. Ficha de Emergencia de Transporte: TEC (R)-90G02.	Separado de nitrato de amonio y clorato de potasio. Seco.

**IPCS**  
International  
Programme on  
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

**VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO**

# Fichas Internacionales de Seguridad Química

**CLORURO DE AMONIO**

**ICSC: 1051**

## DATOS IMPORTANTES

### ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

SÓLIDO INODORO DE INCOLORO A BLANCO  
HIGROSCÓPICO EN DIVERSAS FORMAS.

### PELIGROS QUÍMICOS:

Se descompone por calentamiento. Esto produce humos tóxicos e irritantes (óxidos de nitrógeno, amoníaco y cloruro de hidrógeno). La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona violentamente con nitrato de amonio y clorato de potasio. Esto genera peligro de incendio y explosión. Ataca el cobre y sus compuestos.

### LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 10 mg/m<sup>3</sup> como TWA; 20 mg/m<sup>3</sup> como STEL; (ACGIH 1998).

### VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación de polvo o humo y por ingestión.

### RIESGO DE INHALACIÓN:

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire.

### EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

## PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 520°C

Se descompone a 338°C

Densidad: 1.5 g/cm<sup>3</sup>

Solubilidad en agua, g/100ml a 25°C: 28.3

Presión de vapor, kPa a 160°C: 0.13

## DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.

## NOTAS

## INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2012):

VLA-ED: (humos) 10 mg/m<sup>3</sup>

VLA-EC: (humos) 20 mg/m<sup>3</sup>

### 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.

**METANO**

**ICSC: 0291**

Febrero 2000

CAS: 74-82-8 Hidruro de metilo  
 RTECS: PA1490000 CH<sub>4</sub>  
 NU: 1971 Masa molecular: 16.0  
 CE Índice Anexo I: 601-001-00-4  
 CE / EINECS: 200-812-7



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
<b>Inhalación</b>	Asfixia. Ver Notas.	Ventilación. A altas concentraciones protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío.	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	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.
<b>Ingestión</b>			

**DERRAMES Y FUGAS**

¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: equipo autónomo de respiración. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.

**ENVASADO Y ETIQUETADO**

Clasificación UE  
 Símbolo: F+  
 R: 12  
 S: (2-)9-16-33  
 Clasificación NU  
 Clasificación de Peligros NU: 2.1

**RESPUESTA DE EMERGENCIA**

Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1F  
 Código NFPA: H1; F4; R0;

**ALMACENAMIENTO**

A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo y techo.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



**METANO****ICSC: 0291****DATOS IMPORTANTES****ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

Gas licuado o comprimido incoloro e inodoro.

**PELIGROS FÍSICOS**

El gas es más ligero que el aire.

**LÍMITES DE EXPOSICIÓN**

TLV: (Hidrocarburos Alifáticos Alcanos (C1-C4), gases) 1000 ppm (como TWA) (ACGIH 2005).

MAK no establecido.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

Punto de ebullición: -161°C

Punto de fusión: -183°C

Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 3.3

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6

Punto de inflamación: gas inflamable

Temperatura de autoignición: 537°C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5-15

Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.09

**DATOS AMBIENTALES****NOTAS**

Densidad del líquido en el punto de ebullición: 0.42 kg/l. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Una vez utilizado para la soldadura, cerrar la válvula; verificar regularmente el estado de la tubería, etc., y comprobar si existen escapes utilizando agua y jabón. Las medidas mencionadas en la sección PREVENCIÓN son aplicables a la producción, llenado de botellas y almacenamiento del gas. Otro número NU: 1972 (líquido refrigerado), clase de peligro: 2.1.

Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Respuesta de Emergencia

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Límites de exposición profesional (INSHT 2012):

VLA-ED: (como Hidrocarburos alifáticos alcanos (C1-C4) y sus mezclas, gases) 1000 ppm

**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.



## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.0 Fecha de revisión 27.04.2012

Fecha de impresión 21.01.2016

---

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

#### 1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Sodium phosphate monobasic

Referencia : 331988

Marca : Aldrich

No. CAS : 7558-80-7

#### 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

#### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Quimica, S.L.  
Ronda de Poniente, 3  
Apto. Correos 278  
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : [eurtechserv@sial.com](mailto:eurtechserv@sial.com)

#### 1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 704100087

---

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

#### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.  
Esta sustancia no está clasificada como peligrosa según la Directiva 67/548/CEE.

#### 2.2 Elementos de la etiqueta

El producto no necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea ó las respectivas leyes nacionales.

#### 2.3 Otros Peligros - ninguno(a)

---

### 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

#### 3.1 Sustancias

Sinónimos : Monosodium phosphate  
Sodium dihydrogen phosphate

Formula :  $H_2NaO_4P$

Peso molecular : 119,98 g/mol

---

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

#### 4.1 Descripción de los primeros auxilios

##### Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

**Si es inhalado**

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con la piel**

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

**En caso de contacto con los ojos**

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

**Si es tragado**

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

sin datos disponibles

---

**5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS****5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

sin datos disponibles

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

**5.4 Otros datos**

El producto no arde por si mismo.

---

**6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL****6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evitar respirar el polvo.

**6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

**6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

Recoger y preparar la eliminación sin originar polvo. Limpiar y traspalar. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

**6.4 Referencia a otras secciones**

Para eliminación de desechos ver sección 13.

---

**7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO****7.1 Precauciones para una manipulación segura**

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evítese la formación de polvo y aerosoles. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo.

**7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Higroscópico. Conservar en un lugar seco.

**7.3 Usos específicos finales**

sin datos disponibles

---

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

### 8.1 Parámetros de control

#### Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

### 8.2 Controles de la exposición

#### Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

#### Protección personal

##### Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad con protecciones laterales conformes con la EN166 Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

##### Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser controlados antes de la utilización. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

##### Protección de inmersión

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,11 mm

Tiempo de perforación: > 480 min

Material probado:Dermatril® (Aldrich Z677272, Talla M)

##### Protección contra salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0,11 mm

Tiempo de perforación: > 30 min

Material probado:Dermatril® (Aldrich Z677272, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 873000, e-mail sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación tiene carácter meramente consultivo y debe ser evaluado por un Higienista Industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

##### Protección Corporal

indumentaria impermeable, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

##### Protección respiratoria

Para exposiciones molestas use respirador de partículas tipo P95 (EE.UU.) o tipo P1 (UE EN 143). Para un nivel de protección mayor use cartuchos de respirador tipo OV/AG/P99 (EE.UU.) o ABEK-P2 (UE EN 143). Usar respiradores y componenetes testados y aprobados bajo los standards gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

---

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- |            |                               |
|------------|-------------------------------|
| a) Aspecto | Forma: polvo<br>Color: blanco |
| b) Olor    | sin datos disponibles         |

c)	Umbral olfativo	sin datos disponibles
d)	pH	4,0 - 4,5 a 50 g/l a 25 °C
e)	Punto de fusión/ punto de congelación	sin datos disponibles
f)	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	sin datos disponibles
g)	Punto de inflamación	sin datos disponibles
h)	Tasa de evaporación	sin datos disponibles
i)	Inflamabilidad (sólido, gas)	sin datos disponibles
j)	Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	sin datos disponibles
k)	Presión de vapor	sin datos disponibles
l)	Densidad de vapor	sin datos disponibles
m)	Densidad relativa	sin datos disponibles
n)	Solubilidad en agua	sin datos disponibles
o)	Coefficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
p)	Temperatura de auto-inflamación	sin datos disponibles
q)	Temperatura de descomposición	sin datos disponibles
r)	Viscosidad	sin datos disponibles
s)	Propiedades explosivas	sin datos disponibles
t)	Propiedades comburentes	sin datos disponibles

## 9.2 Otra información de seguridad

Densidad aparente 940 kg/m<sup>3</sup>

---

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### 10.1 Reactividad

sin datos disponibles

### 10.2 Estabilidad química

sin datos disponibles

### 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

sin datos disponibles

### 10.4 Condiciones que deben evitarse

Exposición a la humedad.

### 10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

### 10.6 Productos de descomposición peligrosos

Otros productos de descomposición peligrosos - sin datos disponibles

---

## 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### 11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

#### **Toxicidad aguda**

sin datos disponibles

#### **Corrosión o irritación cutáneas**

sin datos disponibles

#### **Lesiones o irritación ocular graves**

sin datos disponibles

#### **Sensibilización respiratoria o cutánea**

sin datos disponibles

#### **Mutagenicidad en células germinales**

sin datos disponibles

#### **Carcinogenicidad**

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

#### **Toxicidad para la reproducción**

sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

sin datos disponibles

#### **Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas**

sin datos disponibles

#### **Peligro de aspiración**

sin datos disponibles

#### **Efectos potenciales sobre la salud**

##### **Inhalación**

Puede ser nocivo si se inhala. Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.

##### **Ingestión**

Puede ser nocivo si es tragado.

##### **Piel**

Puede ser nocivo si es absorbido por la piel. Puede provocar una irritación de la piel.

##### **Ojos**

Provoca una irritación en los ojos.

#### **Signos y Síntomas de la Exposición**

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

#### **Información Adicional**

RTECS: WA1900000

---

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### 12.1 Toxicidad

sin datos disponibles

### 12.2 Persistencia y degradabilidad

sin datos disponibles

### 12.3 Potencial de bioacumulación

sin datos disponibles

### 12.4 Movilidad en el suelo

sin datos disponibles

### 12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

sin datos disponibles



## CATIONIC POLYACRYLAMIDES IN POWDER FORM OF HIGH MOLECULAR WEIGHT

POLYACRYLAMIDES CATIONIQUES SOUS FORME DE POUDRE DE HAUT POIDS MOLÉCULAIRE

1/3

FLOPAM		FO 4115 SH	FO 4125 SH	FO 4140 SH	FO 4190 SH	FO 4240 SH	FO 4290 SH	FO 4290 SHU	FO 4350 SH	FO 4350 SHU
Charge density <i>Densité de charge</i>		Very Low <i>Très Faible</i>	Very Low <i>Très Faible</i>	Very Low <i>Très Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Medium <i>Moyenne</i>	Medium <i>Moyenne</i>
Molecular weight <i>Poids moléculaire</i>		High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>	High <i>Haut</i>
Mesh size <i>Granulométrie</i>	% > 10 mesh % < 100 mesh	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi
Approximate bulk density <i>Densité apparente approximative</i>		0.80	0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.80	0.85	0.80
Approximate Brookfield viscosity (cps)* <i>Viscosité Brookfield approximative (cps)*</i>	@ 5.0 g/l @ 2.5 g/l @ 1.0 g/l	120 50 20	150 50 20	230 100 40	280 130 45	415 180 70	510 230 100	340 140 70	625 340 140	350 140 50
Recommended operating concentration (g/l) <i>Concentration d'utilisation conseillée (g/l)</i>		5	5	5	4	4	4	4	4	4
Maximum operating concentration (g/l) <i>Concentration d'utilisation maxi (g/l)</i>		10	10	10	10	10	10	10	10	10
Dissolution time in DI water @ 5 g/l @ 25°C (minutes) <i>Temps de dissolution dans l'eau distillée à 5 g/l à 25°C (minutes)</i>		120	120	90	90	90	90	90	60	60
Stability of DI water solution (days) <i>Stabilité de la solution dans l'eau déionisée (en jours)</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storage temperature (°C) <i>Température de stockage (°C)</i>		0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35
Shelf life (months)# <i>Stabilité (en mois)</i>		24	24	24	24	24	24	24	24	24
<b>Packaging / Conditionnement</b>										
Bags <i>Sacs</i>		25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Big bags <i>Conteneurs souples</i>		750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg

\* Average values given as an indication. When choosing preparation and dosing equipment, a viscosity 10 times lower can be used.

Valeurs moyennes données à titre indicatif. Pour la sélection des appareils de dissolution, se baser sur une viscosité 10 fois plus faible.

# When the product is stored inside a building at a stable temperature between 5°C and 30°C.

Si le produit est stocké à l'intérieur d'un bâtiment à une température stable située entre 5°C et 30°C.

These data are given for information only. They do not constitute a specification and no liability is assumed, nor freedom from any existing patents.

Toutes ces informations sont données à titre indicatif. Elles ne constituent en rien une spécification et ne garantissent ni l'utilisation, ni la dépendance de brevets existants.

FLOPAM FO 4000 SH & SHU

## ANIONIC POLYACRYLAMIDES IN POWDER FORM OF VERY HIGH MOLECULAR WEIGHT

POLYACRYLAMIDES ANIONIQUES SOUS FORME DE POUDRE DE TRÈS HAUT POIDS MOLÉCULAIRE

1/2

FLOPAM		AN 905 SH	AN 905 SHU	AN 910 SH	AN 910 SHU	AN 913 SH	AN 913 SHU	AN 923 SH	AN 923 SHU	AN 926 SH
Charge density <i>Densité de charge</i>		Very Low <i>Très faible</i>	Very Low <i>Très faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Low <i>Faible</i>	Medium <i>Moyenne</i>	Medium <i>Moyenne</i>	Medium <i>Moyenne</i>
Molecular weight <i>Poids moléculaire</i>		Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>	Very High <i>Très Haut</i>
Mesh size <i>Granulométrie</i>	% > 10 mesh % < 100 mesh	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi	2 maxi 6 maxi
Approximate bulk density <i>Densité apparente approximative</i>		0.80	0.75	0.80	0.80	0.80	0.75	0.80	0.75	0.80
Approximate Brookfield viscosity (cps)* <i>Viscosité Brookfield approximative (cps)*</i>	@ 5.0 g/l @ 2.5 g/l @ 1.0 g/l	500 250 70	400 180 70	950 450 150	960 400 180	1300 500 150	1100 600 280	1600 600 200	1320 680 320	1700 650 250
Recommended operating concentration (g/l) <i>Concentration d'utilisation conseillée (g/l)</i>		5	5	5	5	5	5	3	3	3
Maximum operating concentration (g/l) <i>Concentration d'utilisation maxi (g/l)</i>		10	10	10	10	10	10	5	5	5
Dissolution time in DI water @ 5 g/l @ 25°C (minutes) <i>Temps de dissolution dans l'eau distillée à 5 g/l à 25°C (minutes)</i>		90	60	60	60	60	60	60	60	60
Stability of DI water solution (days) <i>Stabilité de la solution dans l'eau déionisée (en jours)</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storage temperature (°C) <i>Température de stockage (°C)</i>		0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35	0-35
Shelf life (months)# <i>Stabilité (en mois)</i>		24	24	24	24	24	24	24	24	24
<b>Packaging / Conditionnement</b>										
Bags <i>Sacs</i>		25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Big bags <i>Conteneurs souples</i>		750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg

\* Average values given as an indication. When choosing preparation and dosing equipment, a viscosity 10 times lower can be used.

Valeurs moyennes données à titre indicatif. Pour la sélection des appareils de dissolution, se baser sur une viscosité 10 fois plus faible.

# When the product is stored inside a building at a stable temperature between 5°C and 30°C.

Si le produit est stocké à l'intérieur d'un bâtiment à une température stable située entre 5°C et 30°C.

These data are given for information only. They do not constitute a specification and no liability is assumed, nor freedom from any existing patents.

Toutes ces informations sont données à titre indicatif. Elles ne constituent en rien une spécification et ne garantissent ni l'utilisation, ni la dépendance de brevets existants.

FLOPAM AN 900 SH & SHU