



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**BALANCES DE MATERIA A UNA LÍNEA  
DE LODOS DE UNA EDAR  
URBANA**

**Autor:**

**Peña Cilleruelo, Adriana**

**Tutor:**

**Pérez Elvira, Sara Isabel  
Departamento de Ingeniería  
Química y Tecnología del  
Medio Ambiente**

**Valladolid, Julio 2019.**

## Resumen

El proyecto se centra en el estudio de las corrientes de la línea de lodos de la EDAR de Valladolid en sus etapas de espesamiento, digestión anaerobia y deshidratación. El principal objetivo es la observación de la variación del caudal, la carga de sólidos y la humedad que contienen cada una de las corrientes de la línea.

Para ello se estudian en primer lugar distintos parámetros característicos de la línea de lodos a partir de los datos históricos del año 2016 de la EDAR de Valladolid. En segundo lugar, a partir de los datos medios proporcionados por la EDAR de las características de algunas corrientes de la EDAR se calculan los parámetros de estudio deseado.

También se realiza una selección y diseño de varios equipos. Y para concluir se incluye un breve análisis económico de algunos costes que tienen lugar en la línea de lodos de la EDAR de Valladolid.

**Palabras clave:** Balances de materia, caudal, concentración, carga, lodos.

# Contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción general .....   | 8  |
| 1.1. Breve descripción de una Estación Depuradora de Aguas Residuales. ....                       | 8  |
| 1.2. Lodos de depuradora y problemática.....  | 9  |
| 1.2.1. Clasificación de los distintos tipos de lodo. ....   | 10 |
| 1.2.2. Composición característica de lodo urbano.....   | 10 |
| 1.3. Legislación y gestión de lodos.....  | 11 |
| 1.4. Descripción de una línea de lodos convencional de EDAR.....                                  | 12 |
| 1.3.1. Espesamiento.....  | 12 |
| 1.3.2. Estabilización.....  | 15 |
| 1.3.3. Deshidratación. ....   | 17 |
| 1.5. Línea de lodos de la EDAR de Valladolid.....   | 18 |
| 2. Datos históricos de la línea de lodos de la EDAR de Valladolid.....                            | 22 |
| 2.1. Diagrama de flujo de la línea de lodos .....   | 22 |
| 2.2. Datos de partida.....  | 22 |
| 3. Balance de materia a línea de lodos de EDAR.....   | 28 |
| 3.1. Diagrama de flujo.....   | 28 |
| 3.2. Datos de partida.....  | 28 |
| 3.3. Cálculo del balance de materia.....  | 28 |
| 3.4. Tabla resumen.....   | 36 |
| 3.5. Resultados y discusión. ....   | 37 |
| 4. Equipos. ....  | 42 |
| 4.1. Centrífuga de espesamiento. ....   | 42 |
| 4.2. Digestor anaerobio.....  | 43 |
| 4.3. Deshidratadores centrífugos.....   | 44 |
| 5. Estudio económico.....   | 48 |
| 5.1. Costes energéticos.....  | 48 |
| 5.1.1. Coste espesamiento. ....   | 48 |
| 5.1.2. Coste deshidratación. ....   | 49 |
| 5.1.3. Coste energético total debido al funcionamiento de las centrífugas.....                    | 49 |
| 5.1.4. Coste asociado a la energía consumida por las bombas en la línea de lodos de la EDAR. .... | 50 |
| 5.2. Coste de aditivos.....   | 50 |
| 5.3. Coste gestión del lodo.....  | 51 |

|   |    |
|---|----|
| 5.4. Implicación a los costes totales de los costes calculados..... | 51 |
| 5.5. Beneficios asociados a la producción de biogás.....            | 52 |
| 6. Conclusiones.....  | 56 |
| 7. Bibliografía.....  | 58 |
| 8. PLANOS.....  | 62 |
| ANEXO.....  | 68 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema general de funcionamiento de una EDAR <sup>[1]</sup> . ..... | 8  |
| Figura 2. Diagrama de bloques de la línea de lodos de una EDAR.....            | 12 |
| Figura 3. Sistema de espesado por gravedad. ....                               | 13 |
| Figura 4. Sistema de espesado por flotación. ....                              | 14 |
| Figura 5. Sistema de espesado por centrifugación.....                          | 14 |
| Figura 6. Sistema de espesamiento mediante tambor rotativo.....                | 15 |
| Figura 7. Sistema de espesamiento mediante mesa espesadora.....                | 15 |
| Figura 8. Filtro prensa .....  | 17 |
| Figura 9. Filtro banda .....   | 18 |
| Figura 10. Sistema de deshidratación centrífuga <sup>[11]</sup> .....          | 18 |
| Figura 11. Gráfica caudal vs día .....   | 23 |
| Figura 12. Gráfica carga SV vs día .....                                       | 24 |
| Figura 13. Gráfica SV vs día .....   | 25 |
| Figura 14. Gráfica caudal de lodo vs día .....                                 | 26 |
| Figura 15. Diagrama circular de los costes estudiados.....                     | 52 |
| Figura 16. Resumen de cogeneración .....                                       | 52 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Composición característica del lodo urbano.....                    | 11 |
| Tabla 2. Datos suministrados por la EDAR de Valladolid.....                 | 28 |
| Tabla 3. Resumen de los resultados del Balance de Materia.....              | 36 |
| Tabla 4. Caudal (m <sup>3</sup> /h).....                                    | 38 |
| Tabla 5. Sólidos Totales (kg/m <sup>3</sup> ).....                          | 38 |
| Tabla 6. Sólidos Volátiles (kg/m <sup>3</sup> ).....                        | 39 |
| Tabla 7. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo primario. ....  | 39 |
| Tabla 8. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo secundario..... | 39 |
| Tabla 9. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo digerido.....   | 40 |
| Tabla 10. Datos técnicos de las decantadoras FLOTTWEG OSE* .....            | 42 |
| Tabla 11. Resumen parámetros del digestor anaerobio. ....                   | 44 |
| Tabla 12. Datos técnicos de las decantadoras FLOTTWEG HTS.....              | 45 |
| Tabla 13. Tabla resumen de los costes .....                                 | 51 |

# Capítulo 1. Introducción general

---

# 1. Introducción general

## 1.1. Breve descripción de una Estación Depuradora de Aguas Residuales.

Una estación depuradora de aguas residuales es el lugar donde se llevan a cabo una serie de operaciones cuyo objetivo es devolver el agua que llega a esta a través de la red de saneamiento al medio natural en el mejor estado posible, reduciendo la concentración de contaminantes. En una EDAR se realizan los mismos procesos de autodepuración que en los ríos pero de forma intensiva, rápida y menor espacio.

Debido a los tratamientos llevados a cabo en el agua se generan una serie de lodos que es necesario acondicionar.

Generalmente el orden de operaciones que tienen lugar en la EDAR es el siguiente:

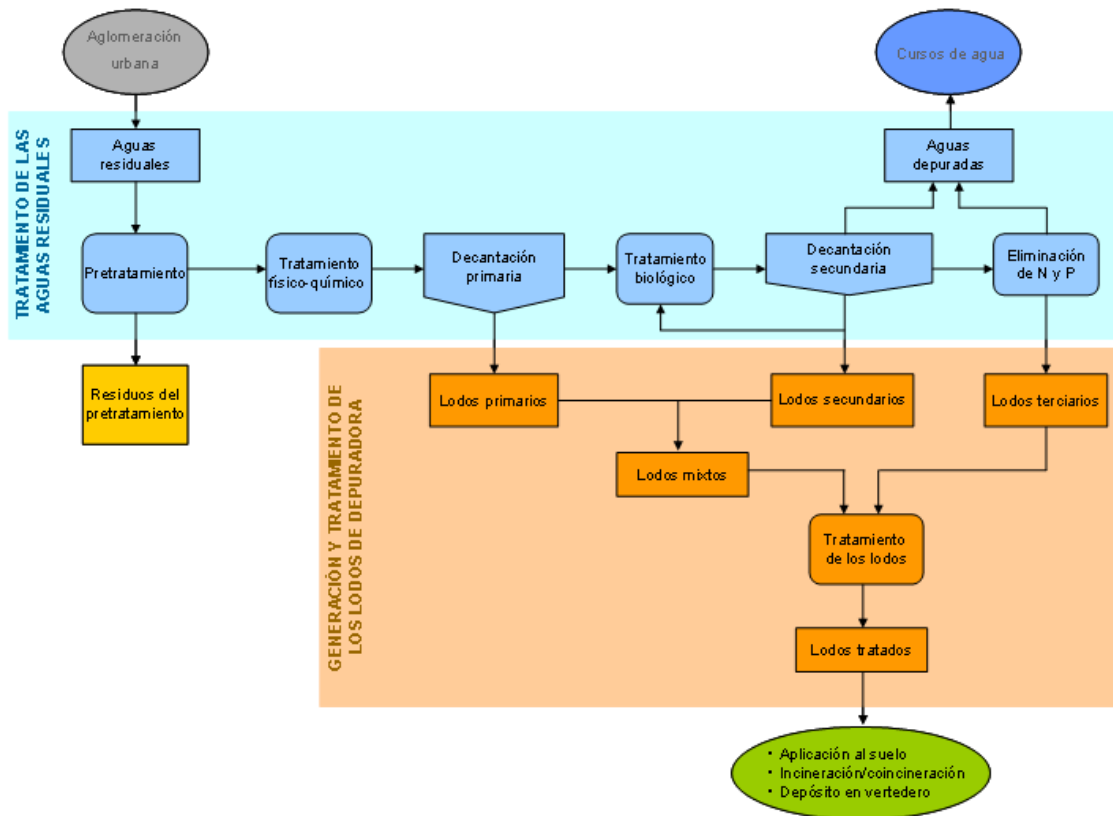


Figura 1. Esquema general de funcionamiento de una EDAR <sup>[1]</sup>.

Cuando las **aguas residuales** procedentes del núcleo urbano llegan a la depuradora se almacenan en un pozo de llegada, en el cual se homogeniza la carga contaminante para así poder hacer un tratamiento efectivo a las aguas, debido a la diferencia de caudales y carga de contaminación que existe dependiendo de la hora del día.



Después se lleva a cabo una etapa de pretratamiento, cuyo objetivo es la eliminación de grandes sólidos, grasas y arenas. A continuación un tratamiento físico químico cuyo objetivo es eliminar los sólidos suspendidos en el agua. Para separar estos sólidos se lleva a cabo una etapa de decantación (decantación primaria). Consiste en la decantación de los sólidos que contiene el agua. Estos sólidos son introducidos a la línea de lodos de la depuradora, son los lodos primarios.

Una vez finalizada la etapa de decantación primaria el agua se somete a un tratamiento biológico, donde se generan sólidos biológicos, los cuales son eliminados del agua en una segunda decantación. Estos lodos biológicos son introducidos también en la línea de lodos de la depuradora.

Para finalizar el tratamiento del agua se lleva a cabo una etapa de eliminación de Nitrógeno y Fósforo. En este punto si el agua cumple con las especificaciones recogidas en la ley de vertidos de agua, está lista para salir de la EDAR.

En la **línea de lodos** se mezclan el lodo primario y el lodo secundario generando el lodo mixto.

El lodo mixto se somete a una primera etapa de espesamiento en la que el agua que se separa del lodo se devuelve a la línea de aguas. El lodo concentrado se somete a un proceso de estabilización. Esta etapa de estabilización se suele llevar a cabo mediante una digestión anaeróbica del lodo espesado y además de generar un lodo estabilizado, se genera una corriente de biogás la cual se destina a autoabastecer la EDAR energéticamente. Una vez que está estabilizado el lodo se somete a una última etapa de deshidratación cuyo fin es eliminar la mayor cantidad de agua que contenga el lodo. Llegados a este punto, el lodo es recogido por un gestor de lodos autorizado responsable de su posterior utilización.

## 1.2. Lodos de depuradora y problemática.

Los **lodos de depuradora** son una mezcla de agua y sólidos, esta mezcla se encuentra separada del agua residual. En el proceso de depuración del agua los contaminantes que contiene quedan contenidos en los lodos, por lo tanto, el lodo necesitará un tratamiento específico para eliminar los contaminantes adquiridos. Estos lodos se obtienen del tratamiento primario y secundario (biológico). Según los datos del Registro Nacional de Lodos se generan en España 1.200.000 toneladas en materia seca de lodos de depuradora, lo cual se irá incrementando debido al aumento de la población en los últimos años. <sup>[1]</sup>

Los principales problemas que resultan de la generación del lodo son: <sup>[2]</sup>

- La generación de grandes volúmenes durante el tratamiento del agua.
- La presencia de gran cantidad de materia orgánica en este.

Estos lodos contienen aproximadamente un 95% de agua por lo que son un residuo cuantiosamente líquido. Su composición depende principalmente de la concentración de las aguas residuales de las que proceden y de los tratamientos que se les aplique a estas. La principal misión de los tratamientos aplicados al agua residual tratan de reducir la concentración de contaminantes de esta, por lo tanto los lodos contienen gran cantidad de estos, suspendidos o disueltos. Por esta razón, es muy importante el tratamiento de lodos y su destino final en el estudio y diseño de una estación depuradora.

Algunas de estas materias tienen gran importancia para la agricultura, como la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el calcio, el magnesio, el potasio y micronutrientes entre otros, pero otras tienen un gran poder contaminante, como los patógenos los contaminantes orgánicos y los metales pesados: cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, zinc.

### 1.2.1. Clasificación de los distintos tipos de lodo.

Atendiendo a la procedencia de los lodos pueden ser clasificados como: [3]

- Lodos de tratamiento primario: estos proceden de la decantación primaria, son consistentes, con una gama de colores entre el marrón y el gris, volviéndose sépticos y dando mal olor con facilidad.
- Lodos de precipitación química: generalmente de color negro y su olor pudiendo llegar a ser desagradable, lo es menos que los anteriores. La velocidad de descomposición de estos fangos es mucho menor.
- Lodos de tratamiento secundario: en el caso de lodos activados, son marrones, ligeros y al estar bien aireados producen olor con menos rapidez que los fangos primarios. En caso de no estar aireados, su color se oscurece y su olor es tan fuerte como el del fango primario.
- Lodos de lechos bacterianos: son de color marrón y no producen olores molestos. Se degradan una velocidad menor que los fangos activados.
- Lodos estabilizados: su color es entre marrón oscuro y negro y contiene cantidades relativamente grandes de gas. Cuando está bien digerido prácticamente no produce olor.

### 1.2.2. Composición característica de lodo urbano.

La composición característica de los lodos urbanos es: [3]

| Características de los lodos         |                                  |                   |                    |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|
|                                      | Lodos primarios                  | Lodos secundarios | Digeridos (mezcla) |
| ST g/(hab·d)                         | 30-36                            | 18-29             | 31-40              |
| Contenido de agua %                  | 92-96                            | 97,5-98           | 94-97              |
| SV (%ST)                             | 70-80                            | 80-90             | 55-65              |
| Grasas (%ST)                         | 12-16                            | 3-5               | 4-12               |
| Proteínas (%ST)                      | 4-14                             | 20-30             | 10-20              |
| Carbohidratos (%ST)                  | 8-10                             | 6-8               | 5-8                |
| pH                                   | 5,5-6,5                          | 6,5-7,5           | 6,8-7,6            |
| Fósforo (%ST)                        | 0,5-1,5                          | 1,5-2,5           | 0,5-1,5            |
| Nitrógeno (%ST)                      | 2-5                              | 1-6               | 3-7                |
| Bacterias patógenas (N° por 100 mL)  | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup> | 100-1000          | 10-100             |
| Organismos parásitos (N° por 100 mL) | 8-12                             | 1-3               | 1-3                |
| Metales pesados (%ST) (Zn, Pb, Cu)   | 0,2-2                            | 0,2-2             | 0,2-2              |

Tabla 1. Composición característica del lodo urbano.

### 1.3. Legislación y gestión de lodos.

En la actualidad las orientaciones sobre la gestión de lodos vienen recogidas en el **Plan Nacional Integrado**.

Los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas están regulados por las normas sobre residuos con la particularidad de que su aplicación como fertilizante o como enmienda orgánicas (80% de los lodos generados) debe ajustarse a las siguientes disposiciones:

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario [4]. Con este Real Decreto se establecen una serie de controles por parte de las comunidades autónomas para el seguimiento y utilización de los lodos en la actividad agraria y se crea el Registro Nacional de Lodos (RNL).

Orden de 26 de octubre de 1993 sobre utilización de los lodos de depuradora en agricultura [5], establece las exigencias del suministro de información al RNL sobre producción de lodos y cantidades destinadas a los suelos agrícolas.

Real Decreto 824/2005, de 8 de julio [6], sobre productos fertilizantes. Regula las enmiendas orgánicas elaboradas con residuos orgánicos entre los que se incluyen los lodos de depuradora.

Además los lodos pueden ser incinerados, o coincinerados en cementeras (8% de los lodos generados) de acuerdo con el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre [7], por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio [8], de prevención y control integrados de la contaminación.

Otra opción en la gestión de lodos sería el depósito en vertedero (4% de los lodos generados) cumpliendo con el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre [9], por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Cumpliendo con todos los requisitos anteriores, cada comunidad autónoma tiene una regulación distinta. En Castilla y León la Orden MAM/1711/2009, de 27 de julio [10], por la que se aprueba el Programa de Gestión de lodos de estaciones de depuración de aguas residuales urbanas y de compost de centros de tratamiento de residuos urbanos.

#### 1.4. Descripción de una línea de lodos convencional de EDAR.

Generalmente la secuencia de operaciones que tienen lugar una **línea de lodos** de una EDAR es la siguiente.

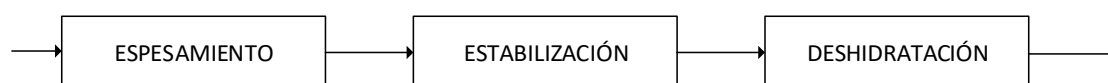


Figura 2. Diagrama de bloques de la línea de lodos de una EDAR.

##### 1.3.1. Espesamiento.

El objetivo de esta etapa es reducir el volumen de lodo, y para ello se separa gran parte del agua que contiene la corriente, la cual se devuelve a la línea de agua. El reducir el volumen de lodo supone una serie de ventajas, como por ejemplo una disminución del tamaño de los equipos necesarios para el tratamiento posterior de

estos y una disminución de la cantidad de energía necesaria en la etapa de digestión y transporte del lodo. Se puede lograr una concentración aproximada desde de una humedad del 99% al 95%.

Este proceso se puede llevar a cabo de distintas formas. [3]

### 1.3.1.1 Espesamiento por gravedad.

La Figura 3 muestra cómo se introduce la alimentación por la zona central, a través de una campana deflectora cuyo objetivo es distribuir la corriente de agua de forma uniforme en su recorrido hasta la periferia. Los **lodos espesados** por gravedad bajan a la zona inferior donde son recogidos, mientras que el **agua** separada se recoge por rebose en la zona superior. El espesador consiste en una depósito cilíndrica, en cuyo interior van colocados dos brazos con rasquetas, unidos a un eje central sobre el que giran. Las rasquetas hacen que los lodos aumenten su concentración y se dirijan hacia la parte central de del fondo cónico, donde son recogidos.

Este sistema es muy efectivo a la hora de utilizar **lodos primarios** y **lodos mixtos** debido a que estos decantan bien por gravedad, al contrario que los **lodos biológicos**, que decantan muy lentamente por gravedad. [11]

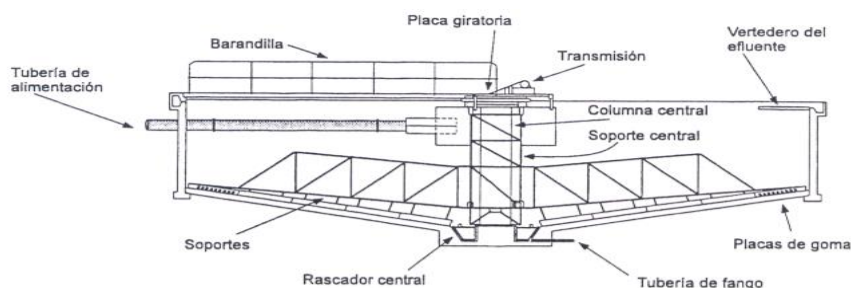


Figura 3. Sistema de espesado por gravedad.

### 1.3.1.2. Espesamiento por flotación.

En este caso, el **lodo** se concentra en la parte superior. Comparándolo con el espesamiento por gravedad cabe destacar que los fangos ascienden a una velocidad superior a la que sedimentan por gravedad, por lo tanto este sistema es mas adecuado para llevar a cabo el espesamiento.

Este procedimiento consiste en disminuir la densidad del lodo gracias a la fijación por capilaridad de las burbujas de aire sobre los lodos floculados.[12]

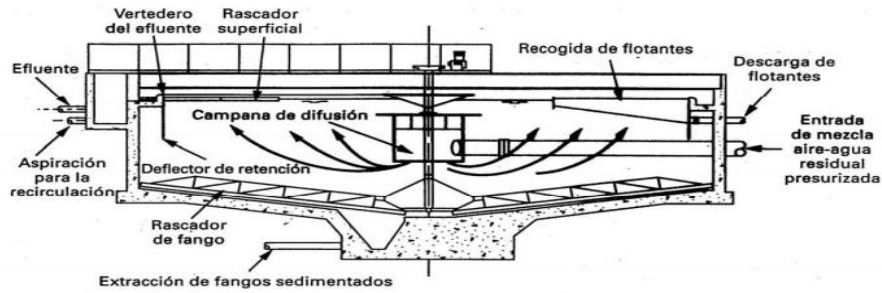


Figura 4. Sistema de espesado por flotación.

### 1.3.1.3. Espesamiento por centrifugación.

Mediante un aumento de las fuerzas gravitatorias se consigue la concentración del **lodo**. Este método se suele llevar a cabo sobre todo para **lodos biológicos**. Estos equipos tienen un coste elevado y requieren medidas adecuadas de mantenimiento. [11]

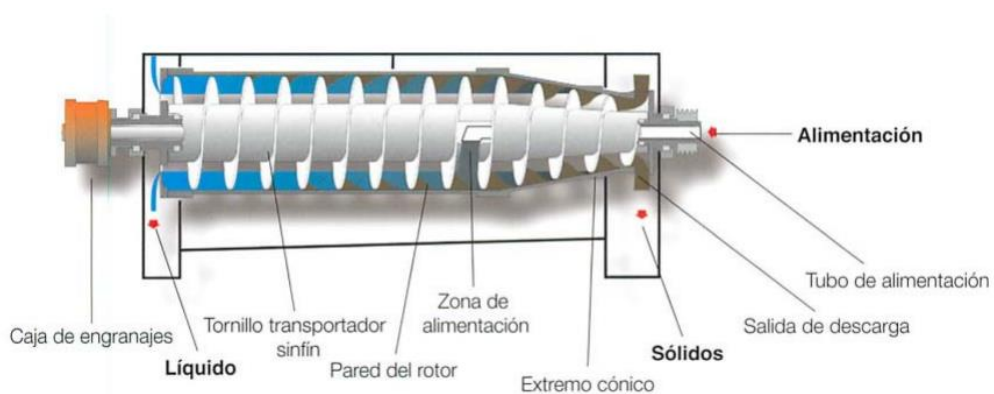


Figura 5. Sistema de espesado por centrifugación

### 1.3.1.4. Tambor rotativo.

La separación se lleva a cabo mediante filtración. Se emplea para **lodos biológicos**. Los costes son menores que en el caso anterior. Esta maquinaria requiere de poco espacio y no se producen olores. Después de mezclar el fango con polímeros con el fin de flocular los sólidos del fango, se le hace pasar por una serie de tamices rotativos con el fin de separar el agua de los sólidos floculados. Dependiendo del pretratamiento llevado a cabo en la línea de agua, se obtendrán distintos tamaños de partículas de sólido en el lodo, habiendo así que seleccionar un tamaño adecuado de paso del tamiz. [13]

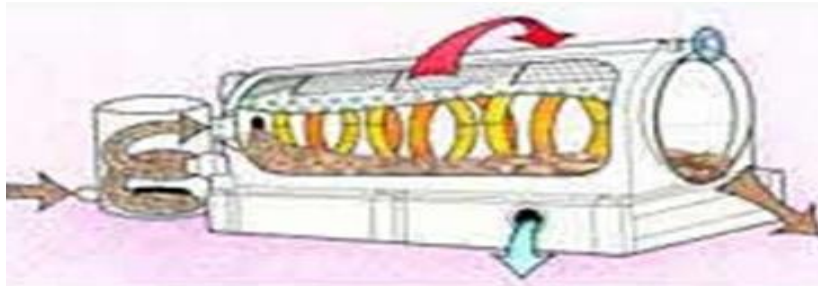


Figura 6. Sistema de espesamiento mediante tambor rotativo.

#### 1.3.1.5. Mesas espesadoras.

La separación se lleva a cabo a través de una cinta horizontal porosa en movimiento. Este dispositivo está indicado para **lodos activos o digeridos**, y contraindicado para **lodos físico-químicos**.<sup>[14]</sup>

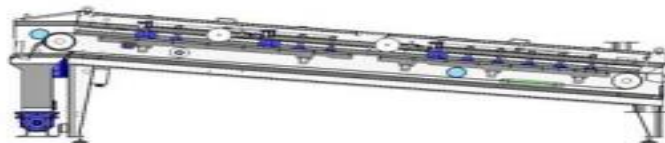


Figura 7. Sistema de espesamiento mediante mesa espesadora.

#### 1.3.2. Estabilización.

Cuando se dispone **del lodo espesado** se lleva a cabo la estabilización de los lodos que permite reducir la cantidad de materia orgánica presente en estos. El objetivo de esta etapa es disminuir la cantidad de materia volátil y por lo tanto la eliminación de malos olores, reducir la presencia de patógenos y además reducir o eliminar la capacidad de putrefacción de la materia orgánica. <sup>[2]</sup>

Existen distintas vías de estabilización de los lodos espesados las cuales se comentan a continuación.

### 3.1.2.1. Estabilización química.

El objetivo de este método es minimizar la concentración de patógenos, y reducir la cantidad de microorganismos responsables de los malos olores. [2]

La **estabilización química** se puede llevar a cabo con cal, en este caso se aplica la dosis correspondiente que permita mantener el pH en 12, durante un tiempo mínimo de dos horas. Este método se utiliza en depuradoras pequeñas, depuradoras que necesitan una estabilización adicional o durante periodos en los que otros sistemas de estabilización no están operativos.

La estabilización química también se puede llevar a cabo con cloro, en este caso se añade una alta dosis de cloro al lodo en reactores cerrados con un tiempo de retención corto. Este sistema raramente se usa a nivel industrial.

### 3.1.2.2. Estabilización biológica.

En este caso se diferencian dos tipos distintos de estabilización. [1][2]

- La **estabilización anaerobia**: consiste en una fermentación microbiana que da lugar a biogás (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> principalmente) y al lodo estabilizado.
- La **estabilización aerobia**: consiste en la reducción de parte sustancial de los lodos, por oxidación en productos volátiles (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>).

Generalmente, la estabilización más utilizada es la estabilización anaerobia, cuyas ventajas son aparte de reducir la cantidad de lodos y la obtención de unos lodos mas estabilizados, se produce **biogás**, el cual se puede usar para autoabastecer energéticamente la EDAR.

En la **digestión anaerobia** los sólidos presentes en el lodo espesado se descomponen en ausencia de oxígeno por la acción de varios tipos de bacterias anaerobias. Estas bacterias cumplen dos funciones distintas, se encargan de formar ácidos, transformando moléculas complejas en moléculas sencillas como agua o dióxido de carbono y se encargan también de transformar los ácidos en metano.

En la digestión anaerobia tienen lugar tres etapas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

### 3.1.2.3. Estabilización térmica.

En este caso se eliminan la materia orgánica y los patógenos mediante **incineración** o **secado térmico**. [2]



### 1.3.3. Deshidratación.

La deshidratación consiste en la eliminación de humedad del lodo, con el objetivo principal de reducir su volumen y así facilitar su posterior transporte y manejo para reducir el coste de estas operaciones.

La deshidratación es un operación que se puede llevar a cabo utilizando distintos tipos de equipos.

#### 1.3.3.1. Filtros prensa.

Los filtros prensa son filtros de placas paralelas. El cabezal móvil es el encargado de aplicar la presión necesaria para filtrar el agua. Este tipo de filtros trabajan en discontinuo pudiendo llegar a obtenerse una humedad próxima al 50%. [15]

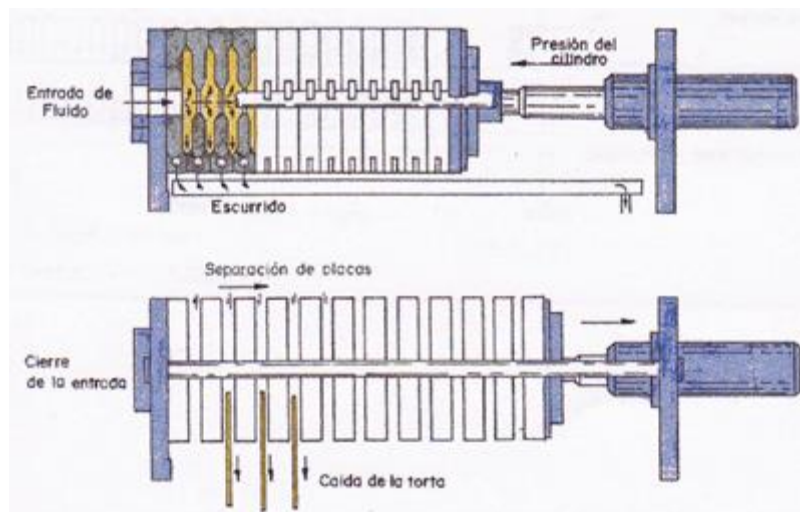


Figura 8. Filtro prensa

#### 1.3.3.2. Filtros banda.

Se lleva a cabo un proceso de filtración se lleva a cabo en tres etapas. Primero una floculación y filtrado mediante polímeros sintéticos, después el **agua** intersticial generada en la primera etapa se drena, y para finalizar el **lodo** atrapado entre dos telas filtrantes se comprime progresivamente. La torta que se forma, se enrolla sucesivamente alrededor de un tambor perforado y sigue un recorrido de rodillos que varía en función del tipo de filtro. [15]

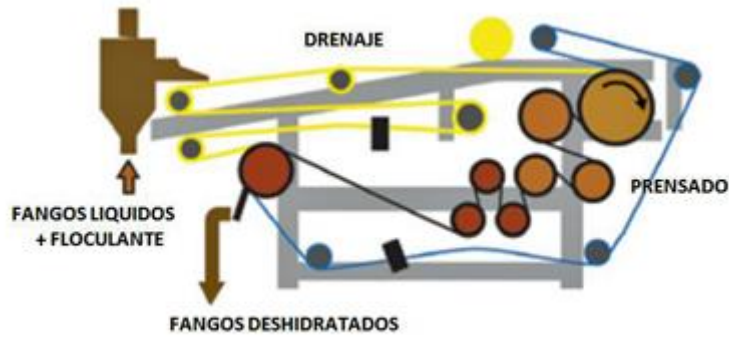


Figura 9. Filtro banda

### 1.3.3.3. Centrífuga.

Al igual que en el caso del espesamiento mediante centrífugas, se utiliza la fuerza centrípeta para la separación del sólido y del líquido por densidades.

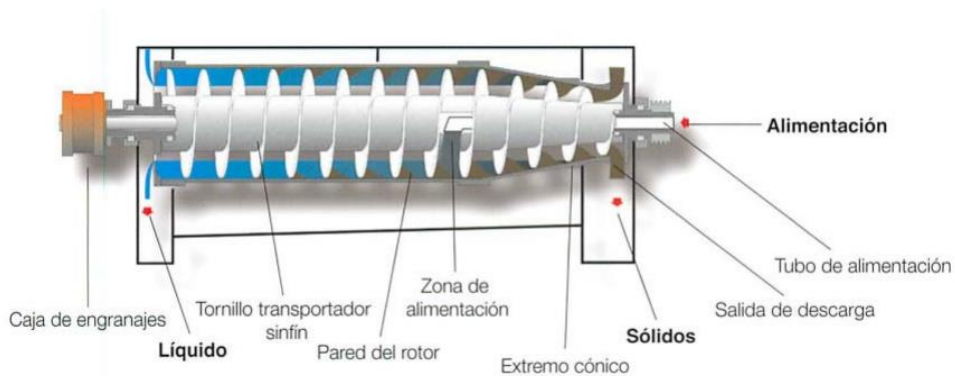


Figura 10. Sistema de deshidratación centrífuga [14]

## 1.5. Línea de lodos de la EDAR de Valladolid.

Los datos utilizados para la realización de este proyecto provienen de la línea de lodos de la **EDAR de Valladolid**. Por eso a continuación se realizará una explicación de cómo funciona esta en particular. [16]

La EDAR de Valladolid es capaz de tratar como máximo un caudal de 3 metros cúbicos por segundo de agua, este caudal equivale a la carga orgánica de 5700000 habitantes.

La EDAR de Valladolid se compone de **tres líneas** de tratamiento conectadas entre sí. Estas líneas son de **agua**, de **lodos** y de **gas**.

Las dos corrientes de lodo generadas en la **línea de aguas** (lodo primario y lodo biológico) son tratadas en la **línea de lodo**. Estas corrientes tienen aproximadamente una humedad del 99% en peso. Las dos corrientes de fango se mezclan y a continuación se someten a un proceso de espesamiento, en el cual utilizando cinco centrífugas se **85** partes del agua contenida. Esta agua es devuelta a la línea de agua para ser tratada.

El **lodo espesado** se somete a un proceso de estabilización, este proceso se realiza en tres grandes digestores. En esta etapa la mitad del **lodo orgánico** se convierte en **biogás** por medio de bacterias a 35°C. La cantidad de biogás generada en los digestores proporciona la energía necesaria para abastecer el 100% de la demanda total de la EDAR.

El **lodo digerido** continúa el proceso en una etapa de deshidratación mediante tres centrífugas y a continuación a una etapa de secado térmico.



## Capítulo 2. Datos históricos de la línea de lodos de la EDAR de Valladolid.

---

## 2. Datos históricos de la línea de lodos de la EDAR de Valladolid.

### 2.1. Diagrama de flujo de la línea de lodos

El diagrama de flujo de la línea de lodos se encuentra recogido en el apartado **PLANOS** de este proyecto.

El diagrama de flujo muestra la llegada de las corrientes de **lodos primario** (1) y **lodo secundario** (2) procedentes de la línea de agua de la EDAR. Estas dos corrientes se mezclan generando la corriente de **lodo mixto** (3). La corriente de lodo mixto (3) se somete a una etapa de espesamiento, la cual se lleva a cabo mediante 5 centrifugas (C-01, C-02, C-03, C-04 y C-05). La etapa de espesamiento genera dos corrientes, una de **agua** (5) que es devuelta a la línea de agua y otra de lodo **espesado** (4) que continua en la línea de fango. A continuación, la corriente de lodo espesado (4) se somete a una etapa de digestión. La etapa de digestión se lleva a cabo en primer lugar por 3 reactores anaeróbicos primarios (R-01, R-02 y R-03) y en segundo lugar en 2 reactores anaeróbicos (R-04 y R-05). En esta etapa se generan dos corrientes distintas, una de **biogás** (7) la cual se lleva a la línea de biogás y por otro lado una corriente de **lodo digerido** (6). A continuación la corriente de lodo digerido (6) se somete a una etapa de deshidratación, mediante 3 decantadoras centrifugas (C-06, C-07 y C-08). En la etapa de deshidratación se generan dos corrientes distintas, una de **agua** (9) que se recircula a la línea de agua y la otra de **lodo** (8) de la cual se hará responsable el gestor de lodo.

### 2.2. Datos de partida.

A la hora de hacer este apartado se han tomado como referencia los datos proporcionados por la EDAR de Valladolid de los 366 días del año 2016. Se han proporcionado los datos de:

- **Caudal (m<sup>3</sup>/d):** Corrientes lodo primario (1), lodo secundario (2), lodo mixto(3), lodo espesado (4) y lodo digerido (6).
- **Sólidos volátiles (kg/m<sup>3</sup>):** Corrientes lodo primario (1), lodo secundario (2), lodo mixto(3), lodo espesado (4) y lodo digerido (6).
- **Sólidos totales (kg/m<sup>3</sup>):** Corrientes lodo primario (1), lodo secundario (2), lodo mixto(3), lodo espesado (4) y lodo digerido (6).
- **Flujo másico (ton/d):** Corriente lodo deshidratado (8).
- **Sólidos totales (% sólidos):** Corriente lodo deshidratado (8).
- **SV/ST (%):** Corriente lodo deshidratado (8).

Además, la etapa de digestión anaerobia se divide en tres digestores primarios y dos digestores secundarios de los cuales se nos da:

- Sólidos volátiles (kg/m<sup>3</sup>)
- Sólidos totales (kg/m<sup>3</sup>)

A continuación se representarán y comentarán algunos de los datos más relevantes:

La figura 11 representa el caudal en m<sup>3</sup> al día de **lodo primario** (1), **lodo biológico** (2) y **lodo mixto** (3) que hay en la línea de fangos de la EDAR. Se puede apreciar que todos los días del año es superior el caudal a tratar de lodos biológicos que de lodos primarios. También como el caudal de lodo mixto es el mayor debido a que es el resultado de la mezcla del lodo primario y del lodo secundario. Además se puede apreciar como en los meses estivales (de junio a septiembre) hay una disminución de caudal de lodos secundarios.

El caudal de lodo primario se encuentra en un intervalo de  $516 \pm 98$  m<sup>3</sup>/ día, el de lodo secundario  $1589 \pm 214$  m<sup>3</sup>/ día y el de lodo mixto  $2223 \pm 313$  m<sup>3</sup>/ día

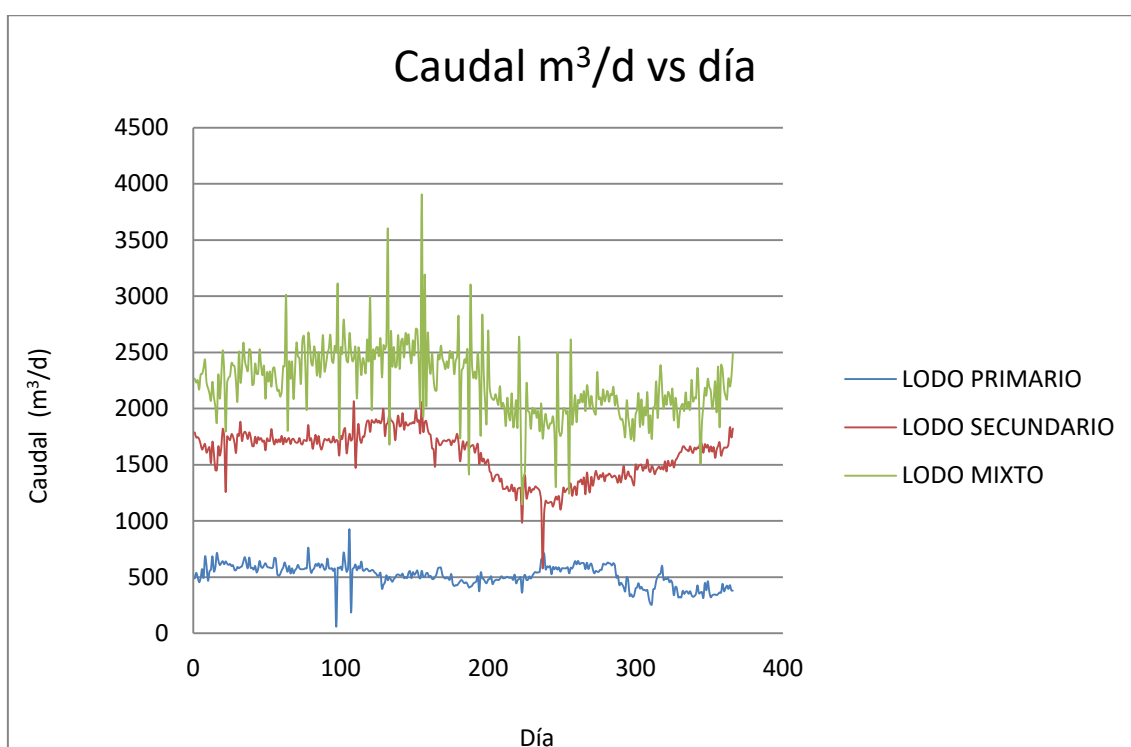


Figura 11. Gráfica caudal vs día

En la figura 12 se muestra la carga de sólidos volátiles que entran en la línea de lodos en kg al día por la corriente de **lodo primario (1)** y de **lodo secundario (2)**. Se puede observar que la cantidad de sólidos volátiles que se tratarán en la posterior etapa de digestión es superior para lodo secundario frente al primario.

La carga de sólidos volátiles se encuentra en un intervalo de  $7403 \pm 2340$  kg/d en el caso de lodo primario (1) y  $10337 \pm 2500$  kg/d en el caso del lodo secundario (2).

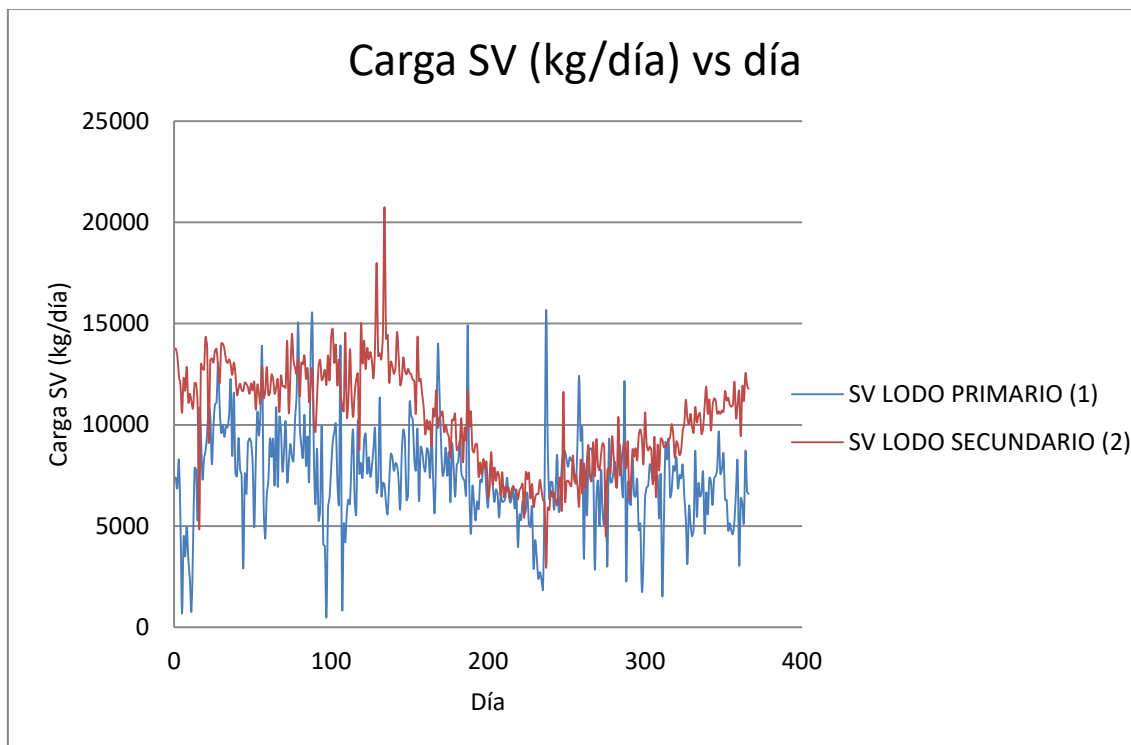


Figura 12. Gráfica carga SV vs día

La figura 13 representa la concentración de **sólidos volátiles** antes (serie SV LODO ESPESADO 4) y después (serie SV LODO DIGERIDO 6) de la etapa de digestión anaerobia. Se puede ver claramente cómo se reduce la concentración de estos a la salida, pues este es el objetivo de esta etapa, reducir la cantidad de sólidos volátiles para evitar malos olores, y putrefacción de la materia orgánica.

Se puede apreciar también como la concentración de sólidos volátiles tiene menor desviación tras la digestión (6) que antes de la digestión (4). En el caso de los sólidos volátiles antes de la digestión (4) se obtiene un intervalo de concentraciones de  $21,6 \pm 3,4$  mientras que tras la digestión (6)  $10,9 \pm 1,0$ .



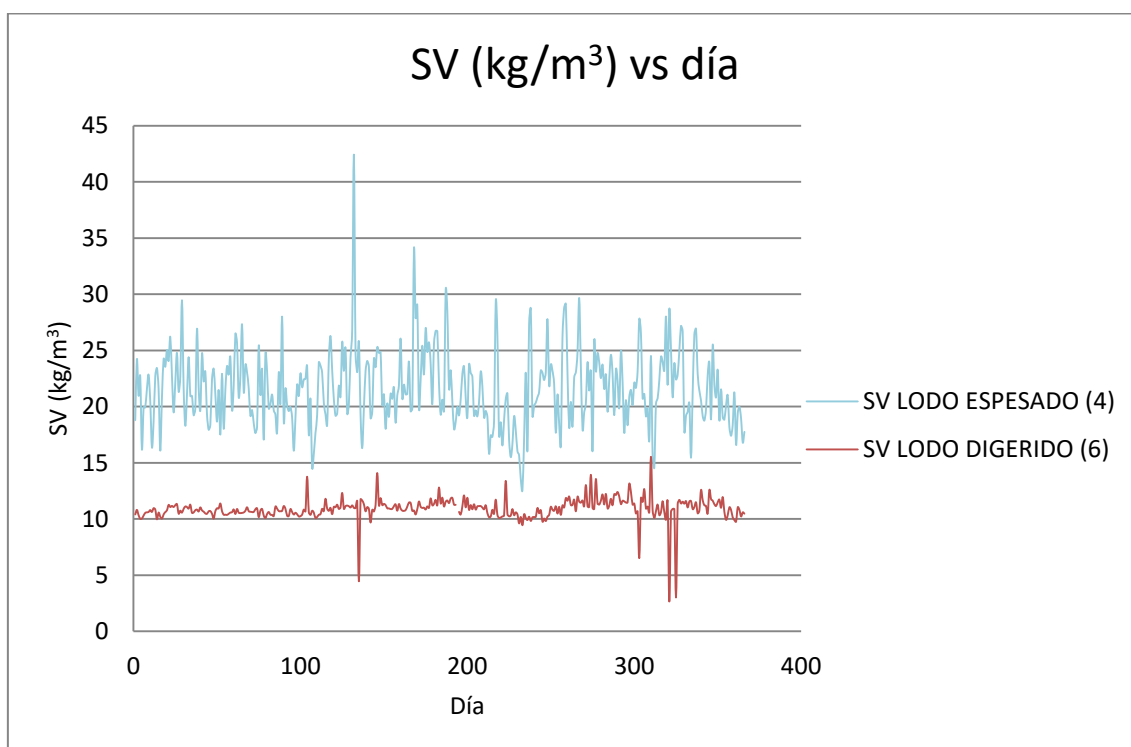


Figura 13. Gráfica SV vs día

La figura 14 representa la significativa reducción en el caudal de lodos que existe en la línea de lodos de la EDAR mostrando el caudal de **lodo mixto** (3) y el **lodo deshidratado** (8) que abandona el proceso. Que exista una gran reducción es lo que se pretende en la línea de lodos, debido a que existe un coste asociado a la eliminación de estos en la EDAR, por tanto una menor cantidad de lodo deshidratado supondrá un coste menor a la EDAR.

El caudal de entrada de lodo total en la línea de fango (serie LODO MIXTO 3) tiene un rango de  $2223 \pm 313$  mientras que el lodo deshidratado (serie LODO DESHIDRATADO 8)  $78 \pm 33$ .

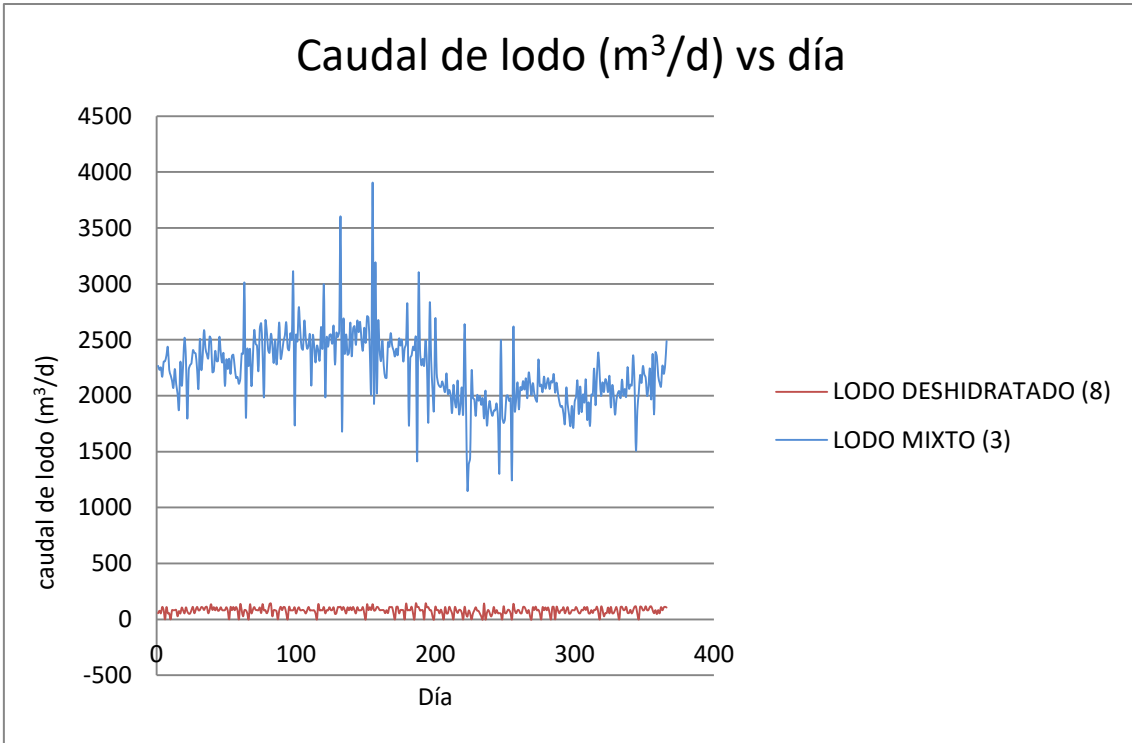


Figura 14. Gráfica caudal de lodo vs día

## Capítulo 3. Balance de materia a una línea de lodos de una EDAR

---

### 3. Balance de materia a línea de lodos de EDAR.

El objetivo que se pretende con el balance de materia a la línea de lodos de una depuradora es conocer el caudal de cada corriente y la concentración de sólido presente en esta.

#### 3.1. Diagrama de flujo.

El diagrama de flujo se encuentra en el apartado PLANOS.

#### 3.2. Datos de partida.

Para la realización del balance de materia se han utilizado como datos de partida básicos datos promedio actuales suministrados por la **EDAR de Valladolid**.

Los datos suministrados están recogidos en la siguiente tabla:

|                            |                                |           |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Lodo primario</b>       | Caudal (m <sup>3</sup> /d)     | 650       |
|                            | ST (kg/m <sup>3</sup> )        | 15-25     |
|                            | SV/ST                          | 0,75      |
| <b>Lodo secundario</b>     | Caudal (m <sup>3</sup> /d)     | 1500-2000 |
|                            | ST(kg/m <sup>3</sup> )         | 7         |
|                            | SV/ST                          | 0,75      |
| <b>Espesamiento</b>        | ST salida (kg/m <sup>3</sup> ) | 30-40     |
| <b>Digestión anaerobia</b> | CH4 en biogás                  | 65%       |
|                            | Rendimiento eliminación SV     | 45%       |
| <b>Deshidratación</b>      | ST salida (kg/m <sup>3</sup> ) | 200       |

Tabla 2. Datos suministrados por la EDAR de Valladolid.

#### 3.3. Cálculo del balance de materia.

En este apartado se calcularán para cada corriente de la línea de lodos: el flujo másico, el flujo volumétrico o caudal, el flujo másico de agua, el flujo másico de

sólidos totales, precisando la cantidad de sólidos volátiles y de sólidos fijos y la humedad relativa.

Como se ha comentado anteriormente, las corrientes de entrada a la línea de lodos, son el **lodo primario** (1) procedente del decantador primario de la línea de agua de la EDAR y el **lodo secundario** (2) procedente del tratamiento biológico de la línea de agua de la EDAR.

Estas dos corrientes contienen casi en totalidad agua, por lo tanto se puede considerar que la densidad de ambas es prácticamente la del agua.

$$\rho_1 = \rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Con esta densidad se calcula el flujo másico total de la corriente de **lodo primario** (1) y **secundario** (2).

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 (\text{kg/m}^3) &= \dot{Q}_1 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot \rho_1 (\text{kg/m}^3) = 650 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 650000 (\text{kg/d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 (\text{kg/m}^3) &= \dot{Q}_2 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot \rho_2 (\text{kg/m}^3) = 1500 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1500000 (\text{kg/d}) \end{aligned}$$

Conocida la concentración de sólidos totales de ambas corrientes (1) y (2) se calcula a continuación el flujo másico de sólidos y el flujo másico de agua de estas corrientes.

$$ST_1 (\text{kg/m}^3) = 25 \text{ kg/m}^3$$

$$ST_2 (\text{kg/m}^3) = 7 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{ST1} (\text{kg/d}) = \dot{Q}_1 (\text{kg/d}) \cdot ST_1 (\text{kg/m}^3) = 650 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot 25 \text{ kg/m}^3 = 16250 (\text{kg/d})$$

$$\dot{m}_{ST2} (\text{kg/d}) = \dot{Q}_2 (\text{kg/d}) \cdot ST_2 (\text{kg/m}^3) = 1500 (\text{m}^3/\text{d}) \cdot 7 \text{ kg/m}^3 = 10500 (\text{kg/d})$$

Conociendo el flujo másico de sólidos de ambas corrientes se puede calcular el flujo másico de agua de cada corriente

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{ST1} + \dot{m}_{agua1}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{ST2} + \dot{m}_{agua2}$$

$$\dot{m}_{agua1} = 650000 (\text{kg/d}) - 16250 (\text{kg/d}) = 633750 (\text{kg/d})$$

$$\dot{m}_{agua2} = 1500000 (\text{kg/d}) - 10500 (\text{kg/d}) = 1489500 (\text{kg/d})$$

La cantidad de sólidos totales, es la suma de los sólidos fijos más los sólidos volátiles

$$\dot{m}_{ST1} = \dot{m}_{SV1} + \dot{m}_{SF1}$$

$$\dot{m}_{ST2} = \dot{m}_{SV2} + \dot{m}_{SF2}$$

De ambas corrientes, **fango primario** (1) y **secundario** (2) se conoce la relación entre la cantidad de sólidos volátiles y sólidos totales.

$$\frac{SV_1}{ST_1} = \frac{SV_2}{ST_2} = 0,75$$

Por lo tanto el flujo másico de sólidos volátiles de ambas corrientes (1) y (2) es:

$$\dot{m}_{SV1}(kg/d) = \frac{SV_1}{ST_1} \cdot \dot{m}_{ST1}(kg/d) = 0,75 \cdot 16250(kg/d) = 12187,5 (kg/d)$$

$$\dot{m}_{SV2}(kg/d) = \frac{SV_1}{ST_1} \cdot \dot{m}_{ST2}(kg/d) = 0,75 \cdot 10500(kg/d) = 7875 (kg/d)$$

Por tanto los sólidos fijos serán:

$$\dot{m}_{SF1} = 16250(kg/d) - 12187,5 (kg/d) = 4062,5 (kg/d)$$

$$\dot{m}_{SF2} = 10500(kg/d) - 7875 (kg/d) = 2625 (kg/d)$$

La humedad relativa de cada corriente será la relación entre el flujo másico de agua y el flujo másico total de cada corriente:

$$\%Humedad_1 = \frac{\dot{m}_{agua1}}{\dot{m}_1} \cdot 100 = \frac{633750 \frac{kg}{d}}{650000 \frac{kg}{d}} \cdot 100 = 97,5\%$$

$$\%Humedad_2 = \frac{\dot{m}_{agua2}}{\dot{m}_2} \cdot 100 = \frac{1489500 \frac{kg}{d}}{1500000 \frac{kg}{d}} \cdot 100 = 99,3\%$$

Estas dos corrientes (1) y (2) son mezcladas generando la corriente de **lodo mixto** (3).

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 650000(kg/d) + 1500000(kg/d) = 2150000 (kg/d)$$

La densidad de la corriente de **lodo mixto** (3) al igual que en los casos anteriores la consideramos igual a la del agua teniendo en cuenta que esta corriente está compuesta por agua casi en su totalidad.

$$\rho_3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{Q}_3 = \dot{m}_3(kg/d)/\rho_3(kg/m^3) = 2150000(kg/d)/1000(kg/m^3) = 2150(m^3/d)$$

Para calcular el flujo másico de agua, de sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos fijos de la corriente de **lodo mixto** (3); se sumarán los de las corrientes de **lodo primario** (1) y **secundario** (2).

$$\begin{aligned}\dot{m}_{agua3} &= \dot{m}_{agua1} + \dot{m}_{agua2} = 633750(kg/d) + 1489500(kg/d) \\ &= 2123250(kg/d)\end{aligned}$$

$$\dot{m}_{ST3} = \dot{m}_{ST1} + \dot{m}_{ST2} = 16250(kg/d) + 10500(kg/d) = 26750(kg/d)$$

$$\dot{m}_{SV3} = \dot{m}_{SV1} + \dot{m}_{SV2} = 12187,5(kg/d) + 7875(kg/d) = 20062,5(kg/d)$$

$$\dot{m}_{SF3} = \dot{m}_{SF1} + \dot{m}_{SF2} = 4062,5(kg/d) + 2625(kg/d) = 6687,5(kg/d)$$

La humedad relativa se calcula de la misma manera que en el caso anterior:

$$\%Humedad_3 = \frac{\dot{m}_{agua3}}{\dot{m}_3} \cdot 100 = \frac{2123250(kg/d)}{2150000(kg/d)} \cdot 100 = 98,76\%$$

La concentración de sólidos de la corriente de lodo mixto (3) será la siguiente:

$$\begin{aligned}ST_3(kg/m^3) &= \dot{m}_{ST3}(kg/d) / \dot{Q}_3(m^3/d) = 26750(kg/d) / 2150(m^3/d) \\ &= 12,44(kg/m^3)\end{aligned}$$

La siguiente etapa es una primera etapa de espesado en la cual se elimina de la corriente de **lodo mixto** (3) una parte del agua que contiene. Generando una corriente de **agua** (5), la cual contiene únicamente (se considera que no contiene sólidos) y una corriente de **lodo espesado** (4).

Por lo tanto la corriente de **lodo espesado** (4) contiene todos los sólidos contenidos en la corriente de **lodo mixto** (3).

Para hacer los cálculos de esta etapa se tendrá en cuenta la concentración de sólidos a la salida de la etapa de espesamiento (4) suministrado por la EDAR, es decir:

$$ST_4(kg/m^3) = 30(kg/m^3)$$

Conociendo este dato se cumple que:

$$ST_3 \cdot \dot{Q}_3 = ST_4 \cdot \dot{Q}_4$$

Por tanto:

$$12,44(kg/m^3) \cdot 2150(m^3/d) = 30(kg/m^3) \cdot \dot{Q}_4$$

$$\dot{Q}_4 = 891,6(m^3/d)$$

La densidad de esta corriente de **lodo espesado** (4) será superior a la del **lodo mixto** (3) debido a que la concentración de sólidos en esta es mayor. Se ha tomado un valor típico de lodo espesado:

$$\rho_4 = 1020 \text{ kg/m}^3$$

A partir de esta se calcula el flujo másico total de la corriente (4):

$$\begin{aligned} \dot{m}_4 (\text{kg/d}) &= \dot{Q}_4 (\text{kg/d}) \cdot \rho_4 (\text{kg/m}^3) = 891, \hat{6} (\text{m}^3/\text{d}) \cdot 1020 \text{ kg/m}^3 \\ &= 909500 (\text{kg/d}) \end{aligned}$$

Todos los sólidos contenidos en la corriente de **lodo mixto** (3) continúan en la corriente de **lodo espesado** (4):

$$\dot{m}_{ST3} = \dot{m}_{ST4} = 26750 (\text{kg/d})$$

$$\dot{m}_{SV3} = \dot{m}_{SV4} = 20062,5 (\text{kg/d})$$

$$\dot{m}_{SF3} = \dot{m}_{SF4} = 6687,5 (\text{kg/d})$$

Para calcular la cantidad de agua que contiene la corriente de **lodo espesado** (4) se realiza la diferencia entre el flujo másico total de (4) y el flujo másico de sólidos totales de la misma:

$$\dot{m}_{agua4} = \dot{m}_4 - \dot{m}_{ST4} = 909500 (\text{kg/d}) - 26750 (\text{kg/d}) = 882750 (\text{kg/d})$$

La humedad relativa se calcula de la misma manera que en los casos anteriores:

$$\% \text{Humedad}_4 = \frac{\dot{m}_{agua4}}{\dot{m}_4} \cdot 100 = \frac{882750 (\text{kg/d})}{909500 (\text{kg/d})} \cdot 100 = 97,06\%$$

El **agua eliminada** en el espesamiento abandona el sistema por la corriente (5). El flujo másico de esta corriente se puede calcular como diferencia entre el flujo másico total de **lodo mixto** (3) y el de **lodo espesado** (4).

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 2150000 (\text{kg/d}) - 909500 (\text{kg/d}) = 1240500 (\text{kg/d})$$

La densidad de la corriente de **agua** (5) será la densidad del agua:

$$\rho_5 = \rho_{agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto el flujo volumétrico de (5) será:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_5 (\text{m}^3/\text{d}) &= \dot{m}_5 (\text{kg/d}) / \rho_5 (\text{kg/m}^3) = 1240500 (\text{kg/d}) / 1000 (\text{kg/m}^3) \\ &= 1240,5 (\text{m}^3/\text{d}) \end{aligned}$$

El flujo másico de sólidos totales será nulo debido a que la corriente (5) es agua en su totalidad y por tanto los flujos másicos de sólidos volátiles y sólidos fijos también serán nulos, y el flujo másico de agua será igual al flujo másico total de (5).



$$\dot{m}_{ST5} = \dot{m}_{SV5} = \dot{m}_{SF5} = 0 \text{ (kg/d)}$$

$$\dot{m}_{agua5} = \dot{m}_5 = 1240500 \text{ (kg/d)}$$

La siguiente etapa del proceso es la etapa de digestión anaerobia, en la que el lodo espesado es estabilizado. Se produce una eliminación de sólidos volátiles del 45% de la corriente de **lodo espesado** (4). Es decir, en la corriente de **lodo digerido** (6) están presentes un 55% de los sólidos volátiles de la corriente (4).

$$\dot{m}_{SV6} = 0,55 \cdot \dot{m}_{SV4} = 0,55 \cdot 20062,5 \text{ (kg/d)} = 11034,38 \text{ (kg/d)}$$

El flujo másico de sólidos fijos y el de agua es el mismo que el de la corriente de **lodo espesado** (4):

$$\dot{m}_{SF6} = \dot{m}_{SF4} = 6687,5 \text{ (kg/d)}$$

$$\dot{m}_{agua6} = \dot{m}_{agua4} = 882750 \text{ (kg/d)}$$

El flujo másico de sólidos totales será la suma de los flujos másico de sólidos volátiles más sólidos fijos:

$$\dot{m}_{ST6} = \dot{m}_{SV6} + \dot{m}_{SF6} = 11034,38 \text{ (kg/d)} + 6687,5 \text{ (kg/d)} = 17721,88 \text{ (kg/d)}$$

El flujo másico total de la corriente (6) será la suma de los flujos másico de agua y de sólidos totales de dicha corriente:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_{ST6} + \dot{m}_{agua6} = 17721,88 \text{ (kg/d)} + 882750 \text{ (kg/d)} = 900471,88 \text{ (kg/d)}$$

Para calcular el flujo volumétrico de la corriente de **lodo digerido** (6), se ha considerado un valor típico de densidad de lodo estabilizado:

$$\rho_6 = 1010 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_6 \text{ (m}^3\text{/d)} &= \dot{m}_6 \text{ (kg/d)} / \rho_6 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 900471,88 \text{ (kg/d)} / 1010 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 891,56 \text{ (m}^3\text{/d)} \end{aligned}$$

La humedad relativa de la corriente de **lodo digerido** (6) será:

$$\% \text{Humedad}_6 = \frac{\dot{m}_{agua6}}{\dot{m}_6} \cdot 100 = \frac{882750 \text{ (kg/d)}}{900471,88 \text{ (kg/d)}} \cdot 100 = 98,03\%$$

La concentración de sólidos será:

$$\begin{aligned} ST_6 \text{ (kg/m}^3\text{)} &= \dot{m}_{ST6} \text{ (kg/d)} / \dot{Q}_6 \text{ (m}^3\text{/d)} = 17721,88 \text{ (kg/d)} / 891,56 \text{ (m}^3\text{/d)} = \\ &= 19,88 \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

En esta etapa de digestión se genera **biogás** debido a la eliminación de DQO que ocurre al eliminar sólidos volátiles.

El **biogás** está formado por una mezcla de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), trazas de hidrógeno (H<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). La parte útil de la energía del biogás es el valor calorífico de su contenido en CH<sub>4</sub>.

Por cada kilogramo de sólidos volátiles se eliminarán 1,7 kilogramos de DQO. Además por cada kilogramo de DQO eliminado se generan 0,35 Nm<sup>3</sup> de metano (CH<sub>4</sub>). En los datos proporcionados por la EDAR se observa que la cantidad de CH<sub>4</sub> en la corriente de biogás es del 65%.

Teniendo en cuenta lo anterior se calcula la cantidad de **biogás** generado (7).

La cantidad de sólidos volátiles que se eliminan en la corriente es del 45% de los sólidos volátiles contenidos en la corriente (4):

$$\begin{aligned} \dot{m}_{SV_{eliminados}} &= \dot{m}_{SV_4} \cdot 0,45 = 20062,5(kg/d) \cdot 0,45 = 9028,125(kg/d) \\ DQO_{eliminada} &= \frac{1,7 \text{ Kg de DQO}_{eliminada}}{1kg \dot{m}_{SV_{eliminados}}} \cdot 9028,125(kg/d) = 15347,81(kg/d) \\ Nm^3_{CH_4 \text{ generado}} &= \frac{0,35 Nm^3_{CH_4 \text{ generado}}}{kg DQO_{eliminada}} \cdot 15347,81 kg DQO_{eliminada} = \\ &= 5371,73 \frac{Nm^3_{CH_4 \text{ generado}}}{día} \\ \dot{Q}_7(m^3/d) &= \frac{Nm^3_{CH_4 \text{ generado}}}{0,65} = \frac{5371,73 \frac{Nm^3_{CH_4 \text{ generado}}}{día}}{0,65} = 8264,20(m^3/d) \end{aligned}$$

La densidad del **biogás** (7) es:

$$\rho_7 = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto el flujo másico de biogás será:

$$\begin{aligned} \dot{m}_7(kg/d) &= \dot{Q}_7(kg/d) \cdot \rho_7(kg/m^3) = 8264,20(m^3/d) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \\ &= 9917,04(kg/d) \end{aligned}$$

La corriente (6) de **lodo digerido** se somete a una última etapa de secado para eliminar parte del agua que contiene y obtener el **lodo final** (8).

Para hacer los cálculos de esta etapa se utiliza la concentración de sólidos totales en la corriente de **lodo deshidratado** final (8) proporcionada por la EDAR.

$$ST_8(kg/m^3) = 200 (kg/m^3)$$

Conociendo este dato se cumple que:

$$ST_6 \cdot \dot{Q}_6 = ST_8 \cdot \dot{Q}_8$$

Por tanto:

$$19,88 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 891,56 \text{ (m}^3\text{/d)} = 200 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot \dot{Q}_8$$

$$\dot{Q}_8 = 88,61 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

La densidad típica del lodo final deshidratado es:

$$\rho_8 = 1050 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \dot{m}_8 \text{ (kg/d)} &= \dot{Q}_8 \text{ (kg/d)} \cdot \rho_8 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 88,61 \text{ (m}^3\text{/d)} \cdot 1050 \text{ kg/m}^3 \\ &= 93040,5 \text{ (kg/d)} \end{aligned}$$

Todos los sólidos contenidos en la corriente (6) de **lodo digerido** continúan en la corriente de **lodo deshidratado** (8):

$$\dot{m}_{ST8} = \dot{m}_{ST6} = 17721,88 \text{ (kg/d)}$$

$$\dot{m}_{SV8} = \dot{m}_{SV6} = 11034,38 \text{ (kg/d)}$$

$$\dot{m}_{SF8} = \dot{m}_{SF6} = 6687,5 \text{ (kg/d)}$$

Para calcular la cantidad de agua que contiene la corriente de **lodo deshidratado** (8) se realiza la diferencia entre el flujo másico total de (8) y el flujo másico de sólidos totales de la misma:

$$\dot{m}_{agua8} = \dot{m}_8 - \dot{m}_{ST8} = 93040,5 \text{ (kg/d)} - 17721,88 \text{ (kg/d)} = 75318,62 \text{ (kg/d)}$$

La humedad relativa del **lodo deshidratado** (8) será:

$$\%Humedad_8 = \frac{\dot{m}_{agua8}}{\dot{m}_8} \cdot 100 = \frac{75318,62 \left(\frac{kg}{d}\right)}{93040,5 \left(\frac{kg}{d}\right)} \cdot 100 = 80,95\%$$

La totalidad de **agua** eliminada del lodo en esta etapa abandona el proceso como corriente (9). Esta se calcula como la diferencia entre el flujo másico de agua de la corriente de **lodo digerido** (6) y el flujo másico de agua de la corriente de **lodo deshidratado** (8).

$$\begin{aligned} \dot{m}_{agua9} &= \dot{m}_{agua6} - \dot{m}_{agua8} = 882750 \text{ (kg/d)} - 75317,97 \text{ (kg/d)} \\ &= 807432,03 \text{ (kg/d)} \end{aligned}$$

La corriente (9) únicamente contiene agua, por lo tanto:

$$\dot{m}_{agua9} = \dot{m}_9 = 807432,03 \text{ (kg/d)}$$

$$\dot{m}_{ST9} = \dot{m}_{SV9} = \dot{m}_{SF9} = 0 \text{ (kg/d)}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_9 \text{ (m}^3\text{/d)} &= \dot{m}_9 \text{ (kg/d)} / \rho_9 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 807432,03 \text{ (kg/d)} / 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} = \\ &= 807,43 \text{ (m}^3\text{/d)} \end{aligned}$$

### 3.4. Tabla resumen

|                               | Lodo<br>primario | Lodo<br>secundario | Lodo<br>mixto | Lodo<br>espesado | Agua<br>(espesado) |
|-------------------------------|------------------|--------------------|---------------|------------------|--------------------|
|                               | 1                | 2                  | 3             | 4                | 5                  |
| Q(m <sup>3</sup> /d)          | 650              | 1500               | 2150          | 892              | 1241               |
| m (kg/d)                      | 650000           | 1500000            | 2150000       | 909500           | 1240500            |
| m <sub>Agua</sub> (kg/d)      | 633750           | 1489500            | 2123250       | 882750           | 1240500            |
| m <sub>ST</sub> (Kg/d)        | 16250            | 10500              | 26750         | 26750            | 0                  |
| m <sub>SV</sub> (Kg/d)        | 12188            | 7875               | 20063         | 20063            | 0                  |
| m <sub>SF</sub> (kg/d)        | 4063             | 2625               | 6688          | 6688             | 0                  |
| Humedad relativa<br>%masa     | 97,5             | 99,3               | 98,76         | 97,06            | 100                |
| ST(Kg/m <sup>3</sup> )        | 25               | 7                  | 12,44         | 30               | 0                  |
| SV/ST                         | 0,75             | 0,75               |               |                  |                    |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | 1000             | 1000               | 1000          | 1020             | 1000               |

Tabla 3. Resumen de los resultados del Balance de Materia

|                               | Lodo digerido<br>6 | Biogás<br>7 | Lodo final<br>8 | Agua<br>(deshidratación)<br>9 |
|-------------------------------|--------------------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| Q(m <sup>3</sup> /d)          | 892                | 8264        | 88              | 807                           |
| m (kg/d)                      | 9004719            | 9917        | 93041           | 807432                        |
| m <sub>Agua</sub> (kg/d)      | 882750             | 0           | 75319           | 807432                        |
| m <sub>ST</sub> (Kg/d)        | 17722              | 0           | 17729           | 0                             |
| m <sub>SV</sub> (Kg/d)        | 11034              | 0           | 11034           | 0                             |
| m <sub>SF</sub> (kg/d)        | 6688               | 0           | 6688            | 0                             |
| Humedad relativa<br>%masa     | 98,03              | 0           | 80,95           | 100                           |
| ST(Kg/m <sup>3</sup> )        | 19,88              | 0           | 200             | 0                             |
| SV/ST                         |                    |             |                 |                               |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | 1010               | 1,2         | 1050            | 1000                          |

Tabla 3. Resumen de los resultados del Balance de Materia

### 3.5. Resultados y discusión.

A la vista de los resultados obtenidos se presenta una comparativa de los datos obtenidos en el presente capítulo con los datos históricos del año 2016.

En la tabla 4 se recogen los valores correspondientes al caudal en metros cúbicos por hora, de todas las corrientes de lodos pertenecientes a la línea de fango de la EDAR. Las columnas “Media” y “Desviación estándar” representan el valor medio de los datos históricos correspondientes al año 2016 suministrados por la EDAR, correspondientes a 366 días. La columna “Valores del Balance de Materia” representa el valor del caudal calculado a través del balance de materia en el apartado 3.3.

| Corriente       | Nº de corriente | Caudal (m <sup>3</sup> /h) |                     |                                |
|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                 |                 | Valores históricos (2016)  |                     | Valores del Balance de Materia |
|                 |                 | Media                      | Desviación estándar |                                |
| L. primario     | 1               | 515                        | 97                  | 650                            |
| L. secundario   | 2               | 1589                       | 214                 | 1500                           |
| L. mixto        | 3               | 2222                       | 313                 | 2150                           |
| L. espesado     | 4               | 773                        | 136                 | 891                            |
| L. digerido     | 6               | 852                        | 199                 | 891                            |
| L. deshidratado | 8               | 77                         | 33                  | 89                             |

Tabla 4. Caudal (m<sup>3</sup>/h)

Se puede observar que los datos históricos del 2016 tienen coherencia con los resultados del balance de materia a excepción del lodo primario que es ligeramente inferior.

En la tabla 5 se recogen los valores correspondientes a la concentración de sólidos totales (kg/m<sup>3</sup>)

| Corriente       | Nº de corriente | Sólidos Totales (kg/m <sup>3</sup> ) |                     |                                |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                 |                 | Valores históricos (2016)            |                     | Valores del Balance de Materia |
|                 |                 | Media                                | Desviación estándar |                                |
| L. primario     | 1               | 19,9                                 | 6,1                 | 25                             |
| L. secundario   | 2               | 8,6                                  | 1,1                 | 7                              |
| L. mixto        | 3               | 11,0                                 | 2,9                 | 12,44                          |
| L. espesado     | 4               | 29,8                                 | 5,1                 | 30                             |
| L. digerido     | 6               | 19,0                                 | 2,2                 | 19,88                          |
| L. deshidratado | 8               | 216,6                                | 19,1                | 200                            |

Tabla 5. Sólidos Totales (kg/m<sup>3</sup>)

Al igual que en el caso anterior los datos históricos del año 2016 tienen coherencia con los valores del balance de materia, excepto para el lodo secundario, que es ligeramente inferior.

En la tabla 6 se recogen los valores correspondientes a la concentración de sólidos volátiles (kg/m<sup>3</sup>)

| Corriente       | Nº de corriente | Sólidos Volátiles (kg/m <sup>3</sup> ) |                     |                                |
|-----------------|-----------------|--|---------------------|--------------------------------|
|                 |                 | Valores históricos (2016)              |                     | Valores del Balance de Materia |
|                 |                 | Media                                  | Desviación estándar |                                |
| L. primario     | 1               | 14,5                                   | 4,3                 | 18,75                          |
| L. secundario   | 2               | 6,4                                    | 0,9                 | 5,25                           |
| L. mixto        | 3               | 7,3                                    | 1,8                 | 9,33                           |
| L. espesado     | 4               | 21,6                                   | 3,4                 | 22,5                           |
| L. digerido     | 6               | 10,9                                   | 1,0                 | 12,38                          |
| L. deshidratado | 8               | 130,6                                  | 18,3                | 124,53                         |

Tabla 6. Sólidos Volátiles (kg/m<sup>3</sup>)

Se observa que no en todos los casos son coherentes los datos históricos del año 2016 con los valores del balance de materia, lo cual se puede deber a que los datos de partida del balance de materia corresponden con la media de los datos históricos correspondientes a un periodo de tiempo más dilatado a un año de la EDAR de Valladolid.

Para concluir se comparan los datos suministrados por la Tabla 1 referidos a los lodos generados al tratar agua urbana con los datos obtenidos mediante el cálculo del balance de materia y los datos históricos del año 2016.

Se comparan los datos referidos a la humedad relativa y porcentaje de sólidos volátiles sobre sólidos totales de las corrientes 1, 2 y 6.

| Lodo primario |         |                 |      |
|---------------|---------|-----------------|------|
| Parámetro     | Tabla 1 | Balance Materia | 2016 |
| Humedad (%)   | 92-96   | 97,5            | 98   |
| SV (% ST)     | 70-80   | 75              | 72,8 |

Tabla 7. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo primario.

| Lodo secundario |         |                 |      |
|-----------------|---------|-----------------|------|
| Parámetro       | Tabla 1 | Balance Materia | 2016 |
| Humedad (%)     | 97,5-98 | 99,3            | 99,1 |
| SV (% ST)       | 80-90   | 75              | 74,9 |

Tabla 8. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo secundario

| <b>Lodo digerido</b> |                |                        |             |
|----------------------|----------------|------------------------|-------------|
| <b>Parámetro</b>     | <b>Tabla 1</b> | <b>Balance Materia</b> | <b>2016</b> |
| Humedad (%)          | 94-97          | 98,0                   | 98,1        |
| SV (% ST)            | 55-65          | 62,2                   | 57,6        |

**Tabla 9. Comparativa de resultados con la bibliografía lodo digerido.**

A la vista de los resultados se puede decir que los valores obtenidos mediante el balance de materia y calculados del año 2016 se ajustan a los valores suministrados por la Tabla 1 únicamente en el caso de porcentaje de sólidos volátiles. A pesar de ello la desviación que se obtiene es insignificante.



## Capítulo 4. Equipos

---

## 4. Equipos.

En este capítulo se va a proceder al diseño y selección de los principales equipos utilizados en la línea de fangos de la EDAR. Estos son las **centrífugas** utilizadas en la etapa de espesamiento (C-01, C-02, C-03, C-04 y C-05) y deshidratación (C-06, C-07 y C-08); y el los **reactores anaerobios** utilizados en la etapa de digestión (R-01, R-02 y R-03).

### 4.1. Centrífuga de espesamiento.

La elección de una centrífuga de espesamiento tiene gran relevancia debido en lo que a costes de la EDAR se refiere. Los costes de transporte y eliminación de lodos pueden suponer hasta un 70% del total de los costes. Por lo tanto elegir correctamente una centrífuga para conseguir la máxima materia seca de lodo deshidratado es imprescindible para una gestión eficiente de la EDAR.

En la EDAR de Valladolid se utilizan cinco decantadores centrífugos en la etapa de espesamiento (C-01, C-02, C-03, C-04 y C-05).

El caudal total a tratar en cada decantador centrífugo será:

$$\dot{Q} = \frac{Q_3}{5} = \frac{2150(m^3/d)}{5} = 430 \left( \frac{m^3}{d} \right) = 17,92 \left( \frac{m^3}{hora} \right)$$

En este caso se ha seleccionado el modelo C3E-4 de la serie FLOTTWEG OSE <sup>[17]</sup> de FLOTTWEG. Este modelo puede operar en un rango de caudales entre 15-30 metros cúbicos por hora.

| DATOS TÉCNICOS DE LAS DECANTADORAS FLOTTWEG OSE*                         |  |                     |                       |                       |                       |                       |                       |
|--|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo   | C2E-4  | C3E-4               | C4E-4                 | C5E-4                 | C7E-4                 | C8E-4                 | Z92-4                 |
| Materiales de construcción   | Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero anticorrosivo e inoxidable de alta calidad, p.ej. 1.4463 (Duplex) y 1.4571 (AISI 316Ti) |                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| Dimensiones (L, AN, A)   | 2700 x 840 x 810 mm  | 2980 x 940 x 900 mm | 3520 x 1140 x 1030 mm | 4100 x 1520 x 1210 mm | 4800 x 1720 x 1400 mm | 5920 x 2000 x 1480 mm | 5880 x 2780 x 1730 mm |
| Peso bruto   | 1360 kg  | 1735 kg             | 2760 kg               | 5060 kg               | 8400 kg               | 13100 kg              | 18000 kg              |
| Potencia del motor<br>Accionamiento del tambor                           | 5,5 – 7,5 kW   | 7,5 – 15 kW         | 15 – 30 kW            | 30 – 55 kW            | 55 – 110 kW           | 75 – 132 kW           | 90 – 200 kW           |
| Potencia del motor<br>Accionamiento del tornillo<br>Simp Drive® Flottweg | 2,2 kW   | 4 kW                | 4 kW                  | 5,5 kW                | 5,5 kW                | 5,5 kW                | 7,5 kW                |
| Capacidad  | 8 – 15 m³/h  | 15 – 30 m³/h        | 30 – 60 m³/h          | 45 – 90 m³/h          | 70 – 140 m³/h         | 100 – 200 m³/h        | 120 – 250 m³/h        |

Tabla 10. Datos técnicos de las decantadoras FLOTTWEG OSE\*

## 4.2. Digestor anaerobio.

A la hora de realizar los cálculos para el dimensionado de la etapa de digestión anaerobia se ha de tener en cuenta de que se realiza en 3 digestores iguales (R-01, R-02 y R-03) en paralelo. Por lo tanto cada digestor tratará un caudal de:

$$Q = \frac{\dot{Q}_4 (m^3/d)}{3} = \frac{891,6 (m^3/d)}{3} = 297,2 (m^3/d)$$

El tiempo hidráulico de residencia (TRH) es un parámetro proporcionado por la EDAR y tiene un valor de 30 días, por lo tanto el volumen del reactor será de:

$$V (m^3) = THR (d) \cdot \dot{Q} (m^3/d) = 30(d) \cdot 297,2 (m^3/d) = 8916m^3$$

Se diseña sobredimensionando un 10% el volumen de cada reactor, por lo tanto el volumen real de cada uno de ellos será:

$$V_{diseño} (m^3) = V (m^3) \cdot 1,1 = 8916m^3 \cdot 1,1 = 9807,6m^3$$

Los reactores tienen forma cilíndrica y se van a diseñar considerando que la altura será un 30 % superior al diámetro, obteniéndose así el diámetro y la altura:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot 1,3 D$$

$$D = 20,59 m$$

$$H = 20,59 \cdot 1,3 = 26,77 m$$

La concentración de sólidos volátiles a la entrada del reactor (4) es de 22,50 kg/m<sup>3</sup>, y la concentración a la salida de este (6) es de 12,37 kg/m<sup>3</sup>.

La carga orgánica que trata el reactor es:

$$\begin{aligned} \text{Carga orgánica} &= \frac{Q_4 (m^3/d) \cdot SV_4 (kg/m^3)}{V (m^3)} = \frac{297,2 (m^3/d) \cdot 22,50 (kg/m^3)}{8916 (m^3)} \\ &= 0,75 \frac{kg}{m^3 \cdot d} \end{aligned}$$

El rendimiento de eliminación que se obtiene en el digestor será:

$$\eta_{eliminación} = \frac{SV_4 \left( \frac{kg}{m^3} \right) - SV_6 \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{SV_4 \left( \frac{kg}{m^3} \right)} = \frac{22,50 \left( \frac{kg}{m^3} \right) - 12,37 \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{22,50 \left( \frac{kg}{m^3} \right)} = 0,45$$

En el reactor se produce una cantidad de biogás de 8264,21 Nm<sup>3</sup> al día, por lo tanto por cada metro cúbico de reactor se produce una cantidad

$$\frac{Nm^3 \text{ biogás}}{m^3 \text{ digestor} \cdot d} = \frac{8264,21 Nm^3 \text{ biogás} / d}{8916 m^3} = 0,92 \frac{Nm^3 \text{ biogás}}{m^3 \text{ digestor} \cdot d}$$

El biogás generado en el reactor contiene un 65% de metano.

La tabla 11 recoge todos los parámetros más importantes que se han calculado para los digestores anaerobios.

| Parámetro  | Valores digestor | Unidades   |
|--|------------------|--|
| Caudal   | 297,2            | m <sup>3</sup>                                       |
| SV <sub>4</sub>                                      | 22,50            | kg/m <sup>3</sup>                                    |
| SV <sub>6</sub>                                      | 12,37            | kg/m <sup>3</sup>                                    |
| THR  | 30               | días   |
| Carga orgánica                                       | 0,75             | kg/(m <sup>3</sup> d)                                |
| η <sub>eliminación</sub>                             | 45               | %  |
| Nm <sup>3</sup> biogás/d                             | 8264             | Nm <sup>3</sup> biogás/d                             |
| Nm <sup>3</sup> biogás/ (m <sup>3</sup> digestor ·d) | 0,92             | Nm <sup>3</sup> biogás/ (m <sup>3</sup> digestor ·d) |
| %CH <sub>4</sub>                                     | 65               | %  |

Tabla 11. Resumen parámetros del digestor anaerobio.

La hoja de especificación de los reactores anaerobios se encuentra en el apartado ANEXOS.

### 4.3. Deshidratadores centrífugos.

Para la etapa de deshidratación se utilizan tres decantadores centrífugos (C-06, C-07 y C-08), por lo tanto el caudal a tratar por cada uno de ellos será:

$$\dot{Q} = \frac{Q_6}{3} = \frac{891,56 (m^3/d)}{3} = 297,19(m^3/d) = 12,38(m^3/h)$$

El modelo de decantador centrífugo seleccionado en este caso ha sido el C3E-4 de la serie FLOTTWEG HTS de FLOTTWEG. Cuyo rango comprende caudales de valor entre 10- 20 metros cúbicos por hora <sup>[17]</sup>.

## DESHIDRATACIÓN DE LODOS – DECANTADORAS FLOTTWEG HTS® Y LA SERIE XELLETOR DE FLOTTWEG

| DATOS TÉCNICOS DE LAS DECANTADORAS FLOTTWEG HTS®*                                 |  |                     |                       |                       |                       |                       |                       |
|---|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo  | C2E-4  | C3E-4               | C4E-4                 | C5E-4                 | C7E-4                 | C8E-4                 | Z92-4                 |
| <b>Materiales de construcción</b>   | Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero anticorrosivo e inoxidable de alta calidad, p.ej. 1.4463 (Duplex) y 1.4571 (AISI 316Ti) |                     |                       |                       |                       |                       |                       |
| <b>Dimensiones (L, AN, A)</b>   | 2700 x 840 x 810 mm  | 2980 x 940 x 900 mm | 3520 x 1140 x 1030 mm | 4100 x 1520 x 1210 mm | 4800 x 1720 x 1400 mm | 5920 x 2000 x 1480 mm | 5880 x 2780 x 1730 mm |
| <b>Peso bruto</b>   | 1360 kg  | 1735 kg             | 2760 kg               | 5030 kg               | 8200 kg               | 13100 kg              | 18000 kg              |
| <b>Potencia del motor<br/>Accionamiento del tambor</b>                            | 7,5 – 11 kW  | 11 – 18,5 kW        | 22 – 37 kW            | 45 – 75 kW            | 75 – 132 kW           | 90 – 160 kW           | 160 – 250 kW          |
| <b>Potencia del motor<br/>Accionamiento del tornillo<br/>Simp Drive® Flottweg</b> | 3 kW   | 4 – 5,5 kW          | 7,5 – 11 kW           | 15 kW                 | 30 kW                 | 30 – 45 kW            | 30 – 55 kW            |
| <b>Capacidad</b>  | 5 – 10 m³/h  | 10 – 20 m³/h        | 20 – 40 m³/h          | 30 – 60 m³/h          | 60 – 120 m³/h         | 80 – 160 m³/h         | 90 – 180 m³/h         |

Tabla 12. Datos técnicos de las decantadoras FLOTTWEG HTS



## Capítulo 5. Estudio económico

---

## 5. Estudio económico.

En este capítulo se abordarán algunos de los costes asociados al proceso de tratamiento de lodos de la EDAR y los beneficios asociados a la producción de biogás.

Los diferentes costes de operación que surgen en el tratamiento de los lodos se pueden dividir en: costes energéticos, costes de aditivos y costes de gestión de fangos.

### 5.1. Costes energéticos.

Los costes energéticos que tienen lugar en el tratamiento de los fangos son los siguientes:

- Costes asociados al transporte del lodo, es decir, el coste de la energía utilizada por las bombas que se encuentran en la línea de lodos encargadas de transportar el lodo a través de esta.
- Costes asociados a la separación del agua contenido en la corriente de lodo mediante el sistema de centrifugas en las etapas de espesamiento y de deshidratación.

#### 5.1.1. Coste espesamiento.

Con los datos disponibles en el catálogo de las centrifugas seleccionadas <sup>[17]</sup> se puede calcular el coste que suponen las etapas de espesamiento y de deshidratación de la línea de lodos de la EDAR.

Como se puede observar, las centrifugas seleccionadas constan de dos accionamientos distintos, los cuales trabajan simultáneamente. Por lo tanto habrá que considerar la energía consumida por cada uno de ellos. La potencia de accionamiento del tornillo son 4kW mientras que la potencia de accionamiento tambor para tratar 17,92 m<sup>3</sup>/h serán: 8,96 KW.

Para calcular la potencia consumida en la etapa de espesamiento, hay que tener en cuenta que son cinco centrifugas funcionando simultáneamente durante 365 días al año. Por tanto:

$$P_{centrifuga\ espesamiento} (KWh) = (4kW + 8,96 kW) \cdot \frac{365d}{año} \cdot \frac{24h}{d} = 113529,6 \frac{kWh}{año}$$

Cada centrifuga consumirá en un año 113529,6 kWh



Considerando el precio de cada kWh es 0,11€ <sup>[19]</sup> se obtiene un coste de cada centrífuga:

$$C_{centrifuga\ espesado} = \frac{113529,6\text{ kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{0,11\text{ €}}{\text{kWh}} = 12488,26 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Como se utilizan cinco centrífugas simultáneamente el coste de espesamiento será:

$$C_{espesamiento} = 5 \cdot C_{centrifuga\ espesado} = 5 \cdot 12488,26 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 62441 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

### 5.1.2. Coste deshidratación.

De la misma forma se calcula el coste energético que supone la etapa de deshidratación, teniendo en cuenta que en esta etapa trabajan tres decantadoras centrífugas simultáneamente. En este caso la potencia de accionamiento del tornillo son 4,357kW mientras que la potencia de accionamiento tambor para tratar 12,38 m<sup>3</sup>/h serán: 12,785 KW.

$$\begin{aligned} P_{centrifugades\ deshidratación} (KWh) &= (4,357kW + 12,785\text{ kW}) \cdot \frac{365d}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{d} \\ &= 150163,92 \frac{kWh}{\text{año}} \end{aligned}$$

Considerando el precio de cada kWh como 0,11 € se obtiene un coste de cada centrífuga:

$$C_{centrifuga\ deshidratación} = \frac{150163,92\text{ kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{0,11\text{ €}}{\text{kWh}} = 16518 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$C_{deshidratación} = 3 \cdot C_{centrifuga\ deshidratación} = 3 \cdot 16518,03 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 49554 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

### 5.1.3. Coste energético total debido al funcionamiento de las centrífugas.

El coste energético anual generado por las centrífugas será la suma del coste generado por las centrífugas de espesamiento más las de deshidratación:

$$C_{centrifugas} = 49554 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 62441 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 111995 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

#### 5.1.4. Coste asociado a la energía consumida por las bombas en la línea de lodos de la EDAR.

Debido a la falta de datos disponibles en este aspecto, este coste no ha podido ser calculado.

#### 5.2. Coste de aditivos.

En las etapas de espesamiento y deshidratación se utilizan aditivos para mejorar la separación. Estos aditivos son **electrolitos** y tienen un precio de 3€ cada kg utilizado.

En la etapa de espesamiento se utilizan 7 kg de electrolitos por cada tonelada de sólido de la corriente de **fango mixto** (3), es decir sin tener en cuenta el agua que esta contiene, mientras que en la etapa de deshidratación se utilizan 9kg de electrolitos por cada tonelada de sólido de la corriente la corriente de **fango digerido** (6).

Por lo tanto el coste total de aditivos de cada etapa será:

$$C_{\text{espesamiento}} = \frac{t (\text{sólido totales } 3)}{d} \cdot \frac{7 \text{ kg electrolito}}{t ST_3} \cdot \frac{3\text{€}}{\text{kg electrolito}}$$

A la hora de hacer el cálculo se ha utilizado el flujo másico medio de sólidos totales de la corriente de fango mixto en el año 2016. El cual se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{t \text{ sólido totales}_3}{d} = \bar{Q}_3 \left( \frac{m^3}{d} \right) \cdot \overline{ST}_3 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot \left( \frac{1t}{1000 kg} \right) = \frac{2222,66m^3}{d} \cdot \frac{11,03kg}{m^3} \cdot \frac{1t}{1000 kg} = 24,48 (t/d)$$

Por tanto

$$C_{\text{espesamiento}} = \frac{24,48 t ST_3}{d} \cdot \frac{7 \text{ kg electrolito}}{t ST_3} \cdot \frac{3\text{€}}{\text{kg electrolito}} = 514 \text{ €/dia}$$

En la etapa de deshidratación, el cálculo se realiza de la misma forma, utilizando el flujo másico medio de sólidos totales de la corriente de fango espesado en el año 2016.

$$\frac{t \text{ sólidos totales}_6}{d} = \bar{Q}_6 \left( \frac{m^3}{d} \right) \cdot \overline{ST}_6 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot \left( \frac{1t}{1000 kg} \right) = \frac{852,37 m^3}{d} \cdot \frac{19,03kg}{m^3} \cdot \frac{1t}{1000 kg} = 16,06(t/d)$$

$$C_{deshidratación} = \frac{16,06 \text{ t } ST_3}{d} \cdot \frac{9 \text{ kg electrolito}}{\text{t } ST_3} \cdot \frac{3€}{\text{kg electrolito}} = 434 \text{ €/dia}$$

El coste diario total de aditivos será la suma de ambos

$$C_{aditivos} = C_{espesamiento} + C_{deshidratación} = 514 \text{ €/dia} + 434 \text{ €/dia} = 948 \text{ €/dia}$$

Teniendo en cuenta que el año 2016 tuvo 366 días se calcula el coste debido a los aditivos anual.

$$C_{aditivos}(\text{€/año}) = 948 \text{ €/dia} \cdot 366 \text{ días/año} = 346858 \text{ (€/año)}$$

### 5.3. Coste gestión del lodo.

El coste que supone que el gestor de lodos se haga cargo del fango al final del proceso tiene un coste de 8€ por cada tonelada de **lodo deshidratado** (8) que se lleva.

La cantidad de lodo deshidratado que se llevó el gestor el año 2016 fueron 29857,61 toneladas

$$C_{gestión \text{ fangos}}(\text{€/año}) = 29857,61 \text{ t/día} \cdot 8 \text{ €/t} = 238861 \text{ (€/año)}$$

### 5.4. Implicación a los costes totales de los costes calculados.

La tabla 13 muestra un resumen de los costes anuales calculados en los apartados anteriores asociados a los costes energéticos debidos al funcionamiento de las centrifugas, costes asociados al uso de aditivos en las etapas de espesamiento y deshidratación y costees asociados a la gestión del lodo.

|                              | Coste anual (€/año) |
|------------------------------|---------------------|
| Coste energético centrifugas | 111995              |
| Coste aditivos               | 346858              |
| Coste gestión del lodo       | 238861              |

Tabla 13. Tabla resumen de los costes

Atendiendo a los costes hasta aquí calculados el siguiente gráfico representa cuanto aporta cada uno de ellos a los costes totales de la empresa.

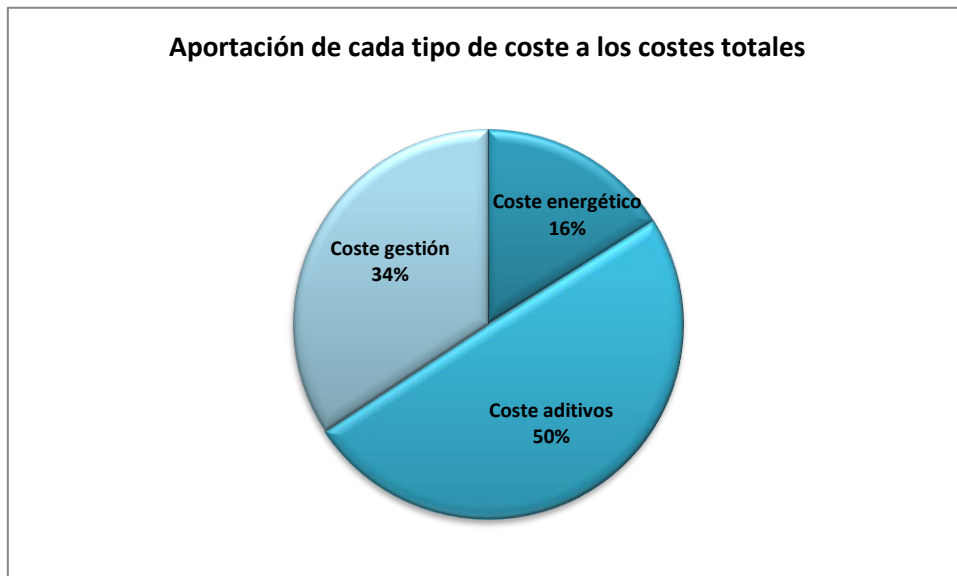


Figura 15. Diagrama circular de los costes estudiados

Como se puede observar, los costes que suponen los aditivos son superiores a los demás.

### 5.5. Beneficios asociados a la producción de biogás.

Generalmente, el biogás generado en la etapa de digestión anaerobia se lleva a una planta de cogeneración, en la cual el biogás se transforma en dos formas de energía distinta simultáneamente; energía térmica y energía eléctrica. [20]

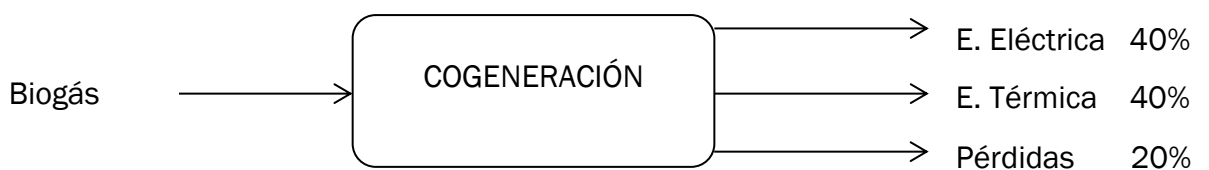


Figura 16. Resumen de cogeneración

La cantidad media de biogás generada al día en la línea de lodos de la EDAR es 8264 Nm<sup>3</sup>. El poder calorífico del biogás es aproximadamente de 1 kWh por cada Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> generado. [21] El biogás contiene un 65% de CH<sub>4</sub>.

$$\frac{kWh}{dia} \text{ totales} = 0,65 \cdot \frac{Nm^3 \text{ biogás}}{d} \cdot \frac{1kWh}{Nm^3 CH_4} = 5371,6 \frac{kWh}{dia}$$

El 40% de la energía total generada al día se vende a red eléctrica con un precio de 0,05 €/kWh <sup>[19]</sup> de energía eléctrica. Por lo tanto se consigue un beneficio de:

$$5371,6 \frac{kWh}{dia} \cdot 0,05 \frac{€}{KWh} \cdot 365 \frac{días}{año} = 98032 \frac{€}{año}$$



## Capítulo 6. Conclusiones

---

## 6. Conclusiones.

La EDAR de Valladolid trata un caudal de agua de 101000 m<sup>3</sup> al día, generando un caudal de lodo de 2150 m<sup>3</sup> al día que se tratan en su línea de lodo (consistente en espesamiento, digestión anaerobia y deshidratación), obteniéndose finalmente un caudal de lodo deshidratado de 88,66 m<sup>3</sup> al día que son entregados al gestor. Es decir, se produce una reducción del 95% del caudal de lodos al final del tratamiento, que además está estabilizado

Los resultados del análisis de los datos históricos registrados para la línea de lodos de la EDAR de Valladolid correspondientes al año 2006 muestran que la cantidad de materia orgánica asociada al lodo primario es muy superior a la debida al lodo secundario (12 ton SV/d frente a 7.8 ton/d para primario y secundario respectivamente), si bien el caudal de lodo primario es la mitad del secundario (650 m<sup>3</sup>/d frente a 1500 m<sup>3</sup>/d). Esto se debe a que la concentración de materia orgánica en el lodo primario es muy superior.

Los balances de materia practicados a la totalidad de la línea de lodos han conducido a resultados similares a los registrados para aquellas corrientes cuantificadas en la EDAR, tanto en flujo como en concentración. Por otro lado, la realización de los balances ha permitido cuantificar por completo todas las corrientes, tanto de lodo como de agua retirada en las etapas de espesamiento y deshidratación, y de biogás.

Como resultado final, se generan 88 toneladas de lodo deshidratado al día, con un 80% de humedad, y un flujo de biogás de 8200 m<sup>3</sup> al día, que por cogeneración permite a obtener energía.

A partir de estos resultados finales se han realizado balances económicos, considerando las principales partidas, que son: energía de espesamiento y deshidratación, aditivos en ambas etapas y gestión de lodos, cuantificándose un coste anual en torno a 700.000 €, siendo la partida correspondiente de cada uno de ellos de 16%, 50% y 34% respectivamente.

Este coste es muy inferior al ingreso de 98000 € anuales que se obtienen por cogeneración del biogás, poniendo de manifiesto el balance económico negativo de una EDAR, en la que el único ingreso procede de la cogeneración, y los gastos son muy superiores a los calculados para la línea de lodos.



## Capítulo 7. Bibliografía

---

## 7. Bibliografía

- [1] Lodos de depuración de aguas residuales. (2019). Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>
- [2] Ramalho, R. (2014). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Editorial Reverté, S. A.
- [3] Hernández Muñoz, A. (1998). *Depuración de aguas residuales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [4] BOE.es - Documento BOE-A-1990-26490. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1990-26490>
- [5] BOE.es - Documento BOE-A-1993-26572. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1993-26572>
- [6] BOE.es - Documento BOE-A-2008-5880. Retrieved from [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-5880](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-5880)
- [7] BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2013-10949. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-10949>
- [8] BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2002-12995. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-12995>
- [9] BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2002-1697. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-1697>
- [10] ORDEN MAM-1711-2009, de 27 de julio, por la que se aprueba el Programa de Gestión de lodos de estaciones de depuración de aguas residuales urbanas y de compost de centros de tratamiento de residuos urbanos. Retrieved from <https://bocyl.vlex.es/vid/lodos-estaciones-depuracion-urbanas-compost-63576592>
- [11] FICHAS TÉCNICAS DE ETAPAS DE PROCESO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. (2019). Retrieved from <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Tecnolog%C3%A4Das+de+espesamiento.pdf/5937d248-06a9-c654-cd44-4583aca5acdb>
- [12] DISEÑO DE TRATAMIENTO DE LÍNEA DE FANGOS EN UNA EDAR CONVENCIONAL. (2019). Retrieved from [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10117/mod\\_resource/content/2/TRATAMIENTO%20DE%20ANGOS%20EN%20EDAR.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10117/mod_resource/content/2/TRATAMIENTO%20DE%20ANGOS%20EN%20EDAR.pdf)
- [13] Experiencia del sector privado. Tratamiento, Manejo y Disposición de Lodos en Plantas Municipales. (2019). Retrieved from

[http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-  
lodos/Experiencia%20del%20Sector%20Privado.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-<br/>lodos/Experiencia%20del%20Sector%20Privado.pdf)

[14] Mesa espesadora Omega LD. (2019). Retrieved from [http://emofrance.cybersco-vt-prod-mut06.cybersrv.net/wp-content/uploads/2014/07/DP\\_17-Mesa-Espesadora-OMEGA-LD\\_c\\_ES.pdf](http://emofrance.cybersco-vt-prod-mut06.cybersrv.net/wp-content/uploads/2014/07/DP_17-Mesa-Espesadora-OMEGA-LD_c_ES.pdf)

[15] Giner, M., Nuevo, D., & Nuevo, D. (2019). La deshidratación de fangos | Formación de ingenieros. Retrieved from <https://www.tecpa.es/la-deshidratacion-de-fangos/>

[16] Estación depuradora de aguas residuales. (2019). Retrieved from [http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/Edar\\_Valladolid.pdf](http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/Edar_Valladolid.pdf)

[17] PROCESAMIENTO EFICIENTE DE LODOS PROVENIENTES DE AGUAS RESIDUALES EN CENTRALES DE AGUA Y EN ESTACIONES DEPURADORAS utilizando las Centrífugas Decantadoras Flottweg. (2019). Retrieved from [https://www.flottweg.com/fileadmin/user\\_upload/data/pdf-downloads/Klaerschlam-ES.pdf](https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Klaerschlam-ES.pdf)

[18] [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammekena\\_am/capitulo\\_8.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammekena_am/capitulo_8.pdf)

[19] Al día | Red Eléctrica de España. (2019). Retrieved from <https://www.ree.es/es/datos/aldia>

[20] Las Plantas de Cogeneración. Retrieved from <http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/las-plantas-de-cogeneracion>

[21] Del análisis del biogás a la planta de generación. Retrieved from <http://www.esamur.com/public/file/ponencia136.compressed.pdf>



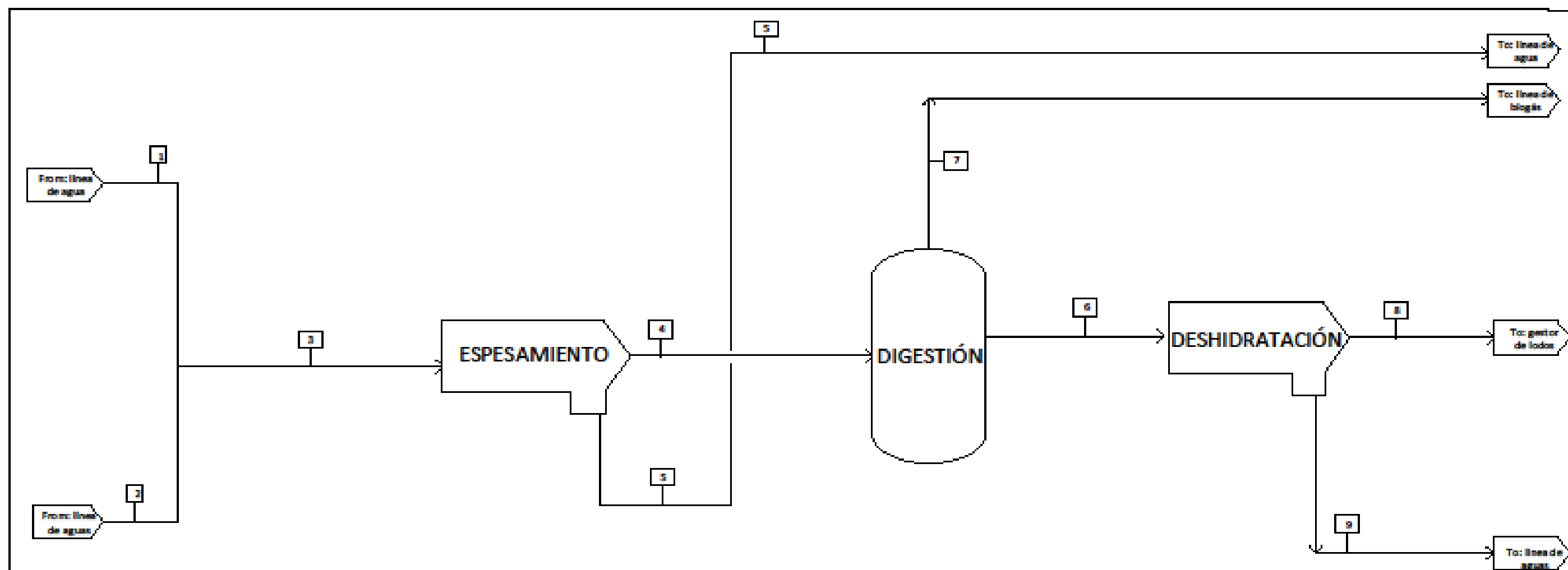
## Capítulo 8. Planos

---

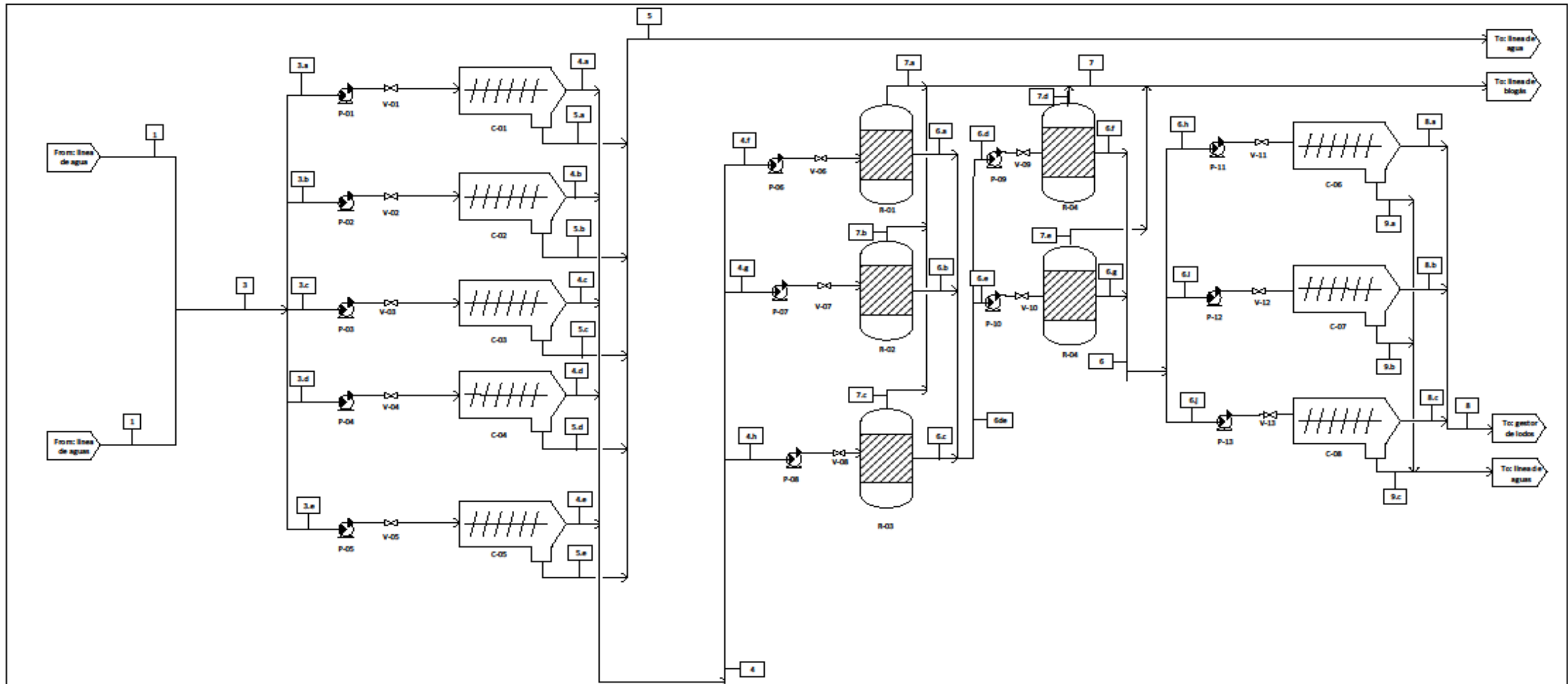
## 8. PLANOS

Dentro del apartado PLANOS se encuentran:

- Diagrama de bloques de línea de lodo de la EDAR
- Diagrama de flujo de línea de lodo de la EDAR
- Hoja de símbolos



|  |                      |
|--|----------------------|
| Diagrama de bloques de la línea de lodos |                      |
| Creado por:<br>Adriana Peña Cilleruelo   |                      |
| UNIVERSIDAD DE VALLADOLID                | Fecha:<br>28/05/2019 |



C-06 C-07 C-08  
Centrífugas de deshidratación

P-01 P-02 P-03 P-04 P-05 P-06 P-07  
P-08 P-09 P-10 P-11 P-12  
Bombas de lodos

C-01 C-02 C-03 C-04 C-05  
Centrífugas de espesamiento

R-01 R-02 R-03  
Digestores anaerobios primarios

R-04 R-05  
Digestores anaerobios secundarios

Diagrama de flujo de la línea de lodos

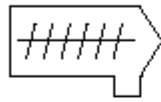
Creado por:  
Adriana Peña Gileruelo

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

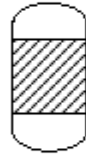
Fecha:  
28/05/2019



**Equipment symbols**



**Decantador centrífugo**



**Digestor anaeróbio**



**Bomba centrífuga**



**Válvula**



**Línea**

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Hoja de símbolos</b>                       |                             |
| <b>Creado por:</b><br>Adriana Peña Cilleruelo |                             |
| <b>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</b>              | <b>Fecha:</b><br>28/05/2019 |



# ANEXOS

---

## ANEXO

El contenido correspondiente al Anexo es:

- Lista de siglas y acrónimos
- Catálogo de centrifugas Flottweg
- Hoja de especificación digestores.

## Lista de siglas y abreviaturas

EDAR: Estación depuradora de aguas residuales.

$ST_n$ : Concentración de sólidos totales en la corriente n expresada en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\dot{m}_n$ : Flujo másico de la corriente n expresado en ( $\text{kg}/\text{d}$ ).

$\dot{m}_{STn}$ : Flujo másico de sólidos totales de la corriente n expresado en ( $\text{kg}/\text{d}$ ).

$\dot{m}_{SVn}$ : Flujo másico de sólidos volátiles de la corriente n expresado en ( $\text{kg}/\text{d}$ ).

$\dot{m}_{SFn}$ : Flujo másico de sólidos fijos de la corriente n expresado en ( $\text{kg}/\text{d}$ ).

$\dot{m}_{aguan}$ : Flujo másico de agua de la corriente n expresado en ( $\text{kg}/\text{d}$ ).

$\rho$ : Densidad expresada en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\dot{Q}_n$ : Flujo volumétrico de la corriente n expresado en ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

DQO: Demanda química de oxígeno.

ST/SV: Relación entre la cantidad de sólidos totales y sólidos volátiles.

C: Coste

V: Volumen

THR: Tiempo hidráulico de residencia

## Catálogo de centrifugas Flottweg



**PROCESAMIENTO EFICIENTE DE LODOS  
PROVENIENTES DE AGUAS RESIDUALES EN  
CENTRALES DE AGUA Y EN ESTACIONES DEPURADORAS**  
utilizando las Centrifugas Decantadoras Flottweg



## PORQUE ES DECISIVO UN PROCESAMIENTO EFICIENTE DE LODOS

Todo el agua de nuestro planeta circula en un circuito cerrado. Los recursos de agua que posee la Tierra ascienden aproximadamente a 1,4 mil millones de kilómetros cúbicos, de los cuales el 96,5 % son agua salada proveniente de los mares. Sólo el 3,5 % son de agua dulce. Sin embargo, más de la mitad de esta agua dulce se encuentra en forma de hielo en los polos, glaciares y suelos de helada permanente.

El agua limpia se está convirtiendo en una materia prima cada vez más importante. Por esta razón, el procesamiento de aguas urbanas e industriales también se vuelve cada vez más importante.

Un proceso clave en el tratamiento del agua potable y de las aguas residuales es la separación eficiente y la deshidratación en su mayor parte mecánica de lodos de grano fino.

Por esta razón, una separación precisa de estos sólidos es crucial para mantener los suelos y aguas limpias ya sea si estos son dispuestos en sumideros, reutilizados como fertilizante o son incinerados.

Para organizar esta etapa del proceso de manera más económica, ecológica y eficiente, la utilización de centrifugas industriales en las centrales de agua y en estaciones depuradoras constituye ser la técnica óptima actual.



## Los cinco parámetros más importantes en la deshidratación de lodos

Para encontrar la solución óptima pero sobre todo la solución más económica para su proceso de deshidratación y de espesamiento, se debe considerar siempre todos los parámetros importantes al elegir el equipo de separación adecuado.

Los cinco parámetros más importantes son:

- Contenido en materia seca
- Capacidad
- Consumo de polímero
- Consumo de energía
- Re-contaminación en el líquido clarificado

Flottweg es su socio especialista para la selección y el dimensionamiento de su equipo de separación. Muchos grandes proyectos ubicados en todo el mundo utilizan las Decantadoras Flottweg diariamente. Estas decantadoras operan en plantas de tratamiento que sirven a poblaciones equivalentes de 5,000 a 10,000,000.

Optimize su proceso: Para más información, visite nuestra página web: [www.flottweg.com](http://www.flottweg.com)





## EFICIENTE, ECONÓMICO, CÓMODO

Las ventajas que le ofrece la centrífuga decantadora para el logro del éxito

En las últimas décadas hemos recolectado y analizado meticulosamente los requerimientos de nuestros clientes así como nuestras experiencias de proceso. Hemos aprendido lo que es importante para usted. Basándonos en estos conocimientos mejoramos continuamente el rendimiento de nuestras centrífugas teniendo siempre en cuenta la rentabilidad en la optimización de su proceso y también la relación precio-calidad de nuestras máquinas. Adicionalmente, usted se beneficiará de las ventajas típicas que ofrece una centrífuga industrial.

### UNA MÁQUINA SIN ESCURRIMIENTOS

- Construcción cerrada
- Buena protección de la zona de trabajo contra las emisiones de olor y los aerosoles de los flocos

### SIMPLE, INTELIGENTE, MODULAR, POTENTE

- Accionamiento potente – el Simp Drive® Flothweg
- Económico gracias a la combinación inteligente de los accionamientos del rotor y del tornillo, se reducen las pérdidas energéticas
- Es posible vaciar la máquina también cuando está parada porque el tornillo gira independientemente del rotor (no es necesario desmontar componentes, por ejemplo después de un apagón)
- Diseñado y manufacturado por Flothweg, no están incluidos componentes adquiridos externamente; los componentes son dimensionados de óptima manera para la máquina.
- Alta disponibilidad y cortos tiempos de mantenimiento y servicio

### CONTENIDO EN MATERIA SECA ESPECIAL

- Cuerpo del tornillo con cono doble y disco deflector
- Compresión adicional sobre los sólidos
- Más alto contenido en materia seca en los sólidos descargados





### MAESTRO DEL AHORRO

- Recuperación de energía adicional utilizando el sistema Recovene® de Flottweg
- Consumo reducido de energía de su decantadora hasta el 30 %
- Es posible reequipar las máquinas ya existentes sin grandes costos y gran esfuerzo; rápida amortización
- Los procesos de separación ya existentes no requieren ser alterados.

\* Dependiente de la profundidad del tanque y de la automatización de los tanques



### PROTECCIÓN CONTRA EL DESGASTE Y MATERIALES

- Protección altamente eficaz contra la abrasión
- Protección de los alabes del rotor con metal duro
- Protección de todas las entradas y salidas con metal duro fundido
- Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable.



### AUTOMÁTICO ES SIEMPRE MEJOR

- Ajuste completamente automático de la velocidad diferencial y de la velocidad del tambor logrando un óptimo contenido en materia seca en los sólidos deshidratados, incluso con variaciones en la alimentación
- Vámonos ya la industria 4.0 – todas las opciones de televigilancia y del mantenimiento a distancia están disponibles a petición.
- Opcional: dosificación automática de los floculantes con supervisión en tiempo real para reducir su consumo
- Integración individual del sistema de control de la centrífuga en su sistema de control general para la más alta eficiencia y seguridad de su sistema



### DOSIFICACIÓN DE POLÍMEROS

- La cantidad de polímeros requerida para la deshidratación y el espesamiento de los lodos depende del diseño de la máquina
- Para lograr la máxima eficiencia, hay que añadir los floculantes en el momento justo y con el óptimo tiempo de permanencia.
- Por esta razón, las decantadoras OSE, HTS® y Xcelator están equipadas con un tubo de mezcla especial.
- Así, es posible añadir los floculantes directamente antes de que los lodos lleguen a la zona de dosificación.



### CONSTRUCCIÓN INTELIGENTE

- Mantenimiento fácil en el lugar de operación gracias al cambio fácil de las piezas de desgaste
- El montaje y el desmontaje rápidos del rotor y del tambor ayudan a reducir los costos de servicio y de mantenimiento.



## LAS DECANTADORAS FLOTTWEG OSE para el espesamiento de lodos procedentes de aguas residuales

Espesar los lodos residuales significa concentrar todos los sólidos que se generan en las etapas biológicas, de aproximadamente el 1 % o menos de contenido de materia seca hasta el 5 - 8 % antes de que éstos sean bombeados al digestor reduciendo así el volumen de los lodos del 80 al 95 %.

Para esta finalidad se construyó desde hace muchos años la Decantadora Flottweg OSE (Optimale Schlammeindickung = espesamiento óptimo de lodos) y desde entonces se continúa desarrollando. Hoy las Decantadoras Flottweg OSE se distinguen por su alto rendimiento así como por su alta rentabilidad y fiabilidad.

Los más recientes estudios sobre costos fijos (máquinas y personal) y costos variables (consumo de electricidad, agua y polielectrolitos así como repuestos) demuestran que la decantadora ofrece ventajas considerables y decisivas en comparación con otros equipos de espesamiento. Estas ventajas son de gran importancia y se hacen visibles especialmente si se trata de altas capacidades y tiempos de operación prolongados. Se disponen de Decantadoras Flottweg OSE para capacidades de 0 hasta 250 m<sup>3</sup>/h (50 to 1100 gpm) por unidad.

Para mayor información, por favor visite nuestro folleto sobre las Decantadoras bajo [www.flottweg.com](http://www.flottweg.com).

### Ventajas en comparación con otros equipos de espesamiento

#### Las ventajas más importantes

- La concentración de los sólidos a desechar se puede ajustar y regular.
- Óptima alimentación de la torre de digestión
- Rendimiento total y degradación más altos

#### Costos de operación optimizados

- Funcionamiento continuo y automático
- Bajo consumo específico de energía
- Bajo o no consumo de polielectrolitos
- Facilidad de limpieza por lavado, no es necesario desmontar la máquina
- Efectiva protección antidesgaste
- El costo de los repuestos y las comprobaciones de seguridad pueden hacerse in situ.

#### Costos de inversión reducidos

- Diseño compacto, mínima necesidad de espacio y altas capacidades de rendimiento
- Construcción estanca para evitar emisiones de olores, no es necesario instalar un sistema para el aire de salida

#### Flexibilidad

- Las Decantadoras Flottweg OSE pueden ser utilizadas también para tratar los lodos mixtos o los lodos primarios.



## LAS DECANTADORAS FLOTTWEG HTS® Y LAS DECANTADORAS XELLETOR



para la deshidratación de lodos procedentes de aguas residuales

### Sus ventajas en comparación con otros equipos de deshidratación

#### Óptimo rendimiento

- Más alto contenido en materia seca
- Mínimo consumo de electricidad
- Mínimo consumo de polímeros

#### Costos de operación optimizados

- Funcionamiento continuo y automático
- No ciclo de limpieza durante la operación
- Extensa protección antidesgaste
- Es posible cambiar los repuestos y hacer las comprobaciones de seguridad in situ.
- No se requieren materiales como coadyuvantes al floc de filtración.

#### Flexibilidad

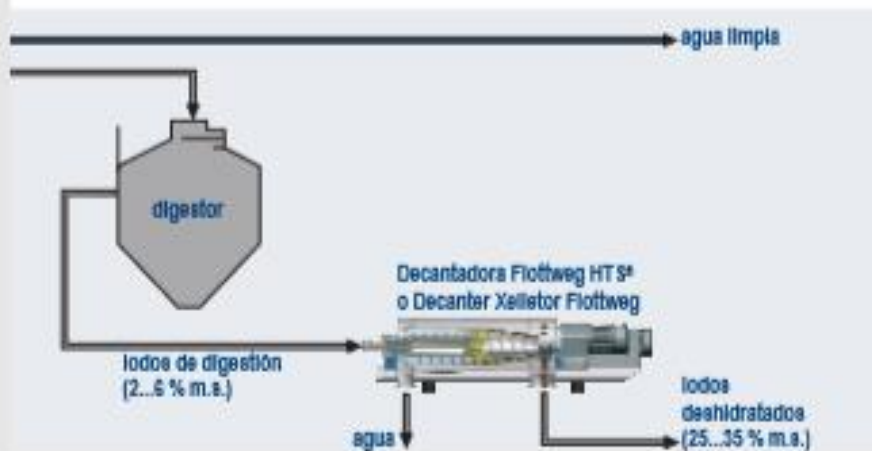
- Las Decantadoras Flottweg HTS® y los decanters Xellektor pueden ser adaptados automáticamente a variables condiciones de alimentación y funcionamiento durante su operación mediante la utilización de un control remoto o un PLC.

Cualquiera sea la aplicación que se le quiera dar a los lodos ya sea que los lodos luego de ser deshidratados, sean transportados, reutilizados, almacenados o quemados, es decisivo que estos estén lo más secos posibles para lograr un tratamiento económico de los mismos.

Otros factores decisivos son un consumo económico de polielectrolitos, energía y agua así como una mínima demanda de repuestos, en pocas palabras, una operación continua y automática a costos mínimos.

Desde el inicio de los años 70, se vienen tomando en cuenta estos factores decisivos. El resultado de este continuo desarrollo es la serie de las Decantadoras Flottweg HTS® la cual ha sido diseñada específicamente para la deshidratación de lodos con capacidades de aproximadamente 5 hasta 100 m<sup>3</sup>/h. (40 to 60 gpm).

Flottweg desarrolló una concepción de centrifugas hasta ahora única destinada a ser utilizada en la alta deshidratación de lodos procedentes de aguas residuales, la **serie Xellektor de Flottweg**. En esta nueva serie se han incluido y aplicado nuestros más recientes y modernos conocimientos sobre la deshidratación de lodos. Para mayor información sobre la serie HTS y Xellektor, véase [www.flottweg.com](http://www.flottweg.com).



® = Marca registrada en varios países.

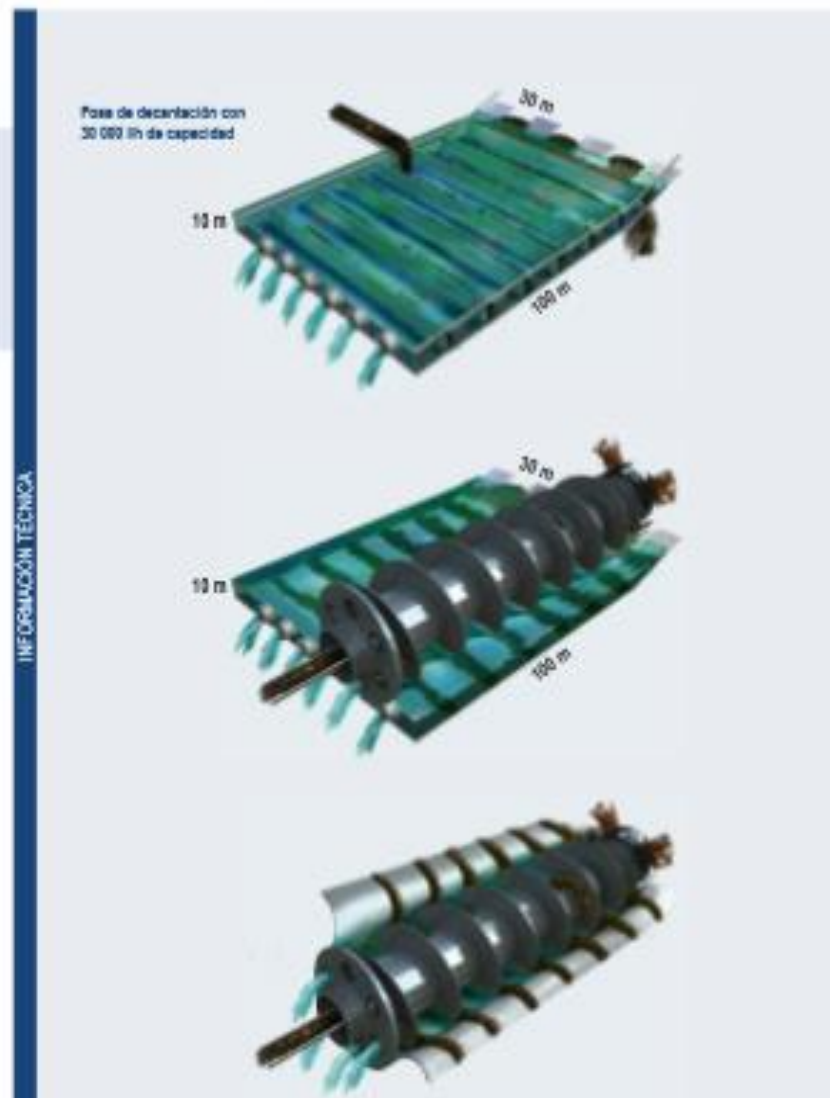
7



## FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRÍFUGA DECANTADORA

Se puede considerar una decantadora como una fosa séptica que gira en torno a un eje. En la fosa séptica los sólidos que son más pesados que el líquido bajan al fondo a causa de la gravedad y forman un sedimento al fondo de la fosa. En el tambor rotatorio de la centrífuga los sólidos que son más pesados que los líquidos se mueven al margen exterior del tambor por efecto de la fuerza centrífuga y forman un sedimento en la pared interior del tambor de la centrífuga.

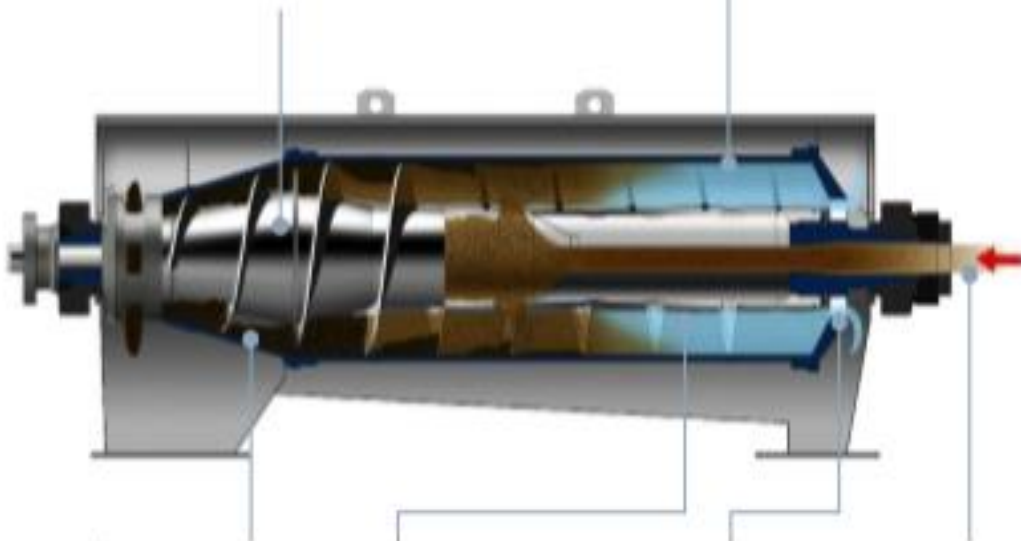
Como en una centrífuga hay fuerzas de aproximadamente 3000 g a diferencia de un g en campo de gravitación, la separación de los sólidos de los líquidos es mucho más rápida y eficiente.



En el interior del tambor hay un tornillo sin fin para la descarga continua del sedimento que es presado hacia la pared interior del tambor.

El tornillo sin fin gira a una baja velocidad diferencial relativa a la del tambor. Esa velocidad diferencial proviene de una caja de reductor rotativo.

El tambor de la decantadora tiene una forma cónica y cilíndrica y gira a una alta velocidad. De esa manera se genera la fuerza centrífuga necesaria para la separación.



**El sedimento** es recogido mediante un tornillo sin fin y levantado del lecho ubicado en la parte cónica y final del tambor, llamada también zona de secado. Después es expulsado a través de las puertas de salida (ubicadas en la parte cónica final del tambor).

En la zona de clarificación es separado en fase líquida y sólida.

**El líquido clarificado** fluye hacia la parte cilíndrica final del tambor y es descargado del tambor por gravedad.

**Los lodos** se introducen a través de un tubo de alimentación central y son conducidos a la zona de alimentación del tornillo sin fin.



## RESUMEN DE LOS MODELOS Y TAMAÑOS



## DATOS TÉCNICOS



### DESHIDRATACIÓN DE LODOS – LAS DECANTADORAS OSE DE FLOTTWEG

| DATOS TÉCNICOS DE LAS DECANTADORAS FLOTTWEG OSE* |   |                           |                           |                           |                            |                             |                             |
|--|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Modelo   | CSE-4   | CSE-4                     | CSE-4                     | CSE-4                     | CSE-4                      | CSE-4                       | ZSE-4                       |
| <b>Materiales de construcción</b>                | Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable o inoxidable de alta calidad, p.ej. 1.4404 (Duplex) y 1.4571 (AISI 316Ti) |                           |                           |                           |                            |                             |                             |
| <b>Dimensiones (L, AN, A)</b>                    | 270 x 94 x 113 mm   | 289 x 94 x 99 mm          | 352 x 94 x 133 mm         | 419 x 123 x 119 mm        | 488 x 172 x 143 mm         | 529 x 209 x 149 mm          | 589 x 279 x 173 mm          |
| <b>Peso bruto</b>                                | 1360 kg   | 1735 kg                   | 2760 kg                   | 5000 kg                   | 8400 kg                    | 13100 kg                    | 18000 kg                    |
| <b>Potencia del motor</b>                        | 6,5 – 7,5 kW  | 7,5 – 15 kW               | 15 – 30 kW                | 30 – 55 kW                | 65 – 110 kW                | 75 – 132 kW                 | 90 – 200 kW                 |
| <b>Accesorio del tambor</b>                      |   |                           |                           |                           |                            |                             |                             |
| <b>Potencia del motor</b>                        | 2,2 kW  | 4 kW                      | 4 kW                      | 5,5 kW                    | 5,5 kW                     | 5,5 kW                      | 7,5 kW                      |
| <b>Accesorio del tambor</b>                      |   |                           |                           |                           |                            |                             |                             |
| <b>Simp Drive® Flottweg</b>                      |   |                           |                           |                           |                            |                             |                             |
| <b>Capacidad</b>                                 | 8 – 15 m <sup>3</sup> /h  | 15 – 30 m <sup>3</sup> /h | 30 – 60 m <sup>3</sup> /h | 45 – 60 m <sup>3</sup> /h | 70 – 140 m <sup>3</sup> /h | 100 – 200 m <sup>3</sup> /h | 120 – 250 m <sup>3</sup> /h |

\* Los datos mencionados son valores orientativos. La capacidad real depende de las características de producto a tratar. Se reservan modificaciones técnicas.

### DESHIDRATACIÓN DE LODOS – DECANTADORAS FLOTTWEG HTS® Y LA SERIE XELLETOR DE FLOTTWEG

| DATOS TÉCNICOS DE LAS DECANTADORAS FLOTTWEG HTS®* |   |                           |                           |                           |                            |                            |                            |
|---|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Modelo  | CSE-4   | CSE-4                     | CSE-4                     | CSE-4                     | CSE-4                      | CSE-4                      | ZSE-4                      |
| <b>Materiales de construcción</b>                 | Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable o inoxidable de alta calidad, p.ej. 1.4404 (Duplex) y 1.4571 (AISI 316Ti) |                           |                           |                           |                            |                            |                            |
| <b>Dimensiones (L, AN, A)</b>                     | 270 x 94 x 113 mm   | 289 x 94 x 99 mm          | 352 x 94 x 133 mm         | 419 x 123 x 126 mm        | 488 x 172 x 143 mm         | 529 x 209 x 149 mm         | 589 x 279 x 173 mm         |
| <b>Peso bruto</b>                                 | 1360 kg   | 1735 kg                   | 2760 kg                   | 5030 kg                   | 8300 kg                    | 13100 kg                   | 18000 kg                   |
| <b>Potencia del motor</b>                         | 7,5 – 11 kW   | 11 – 18,5 kW              | 22 – 37 kW                | 45 – 75 kW                | 75 – 132 kW                | 90 – 160 kW                | 160 – 250 kW               |
| <b>Accesorio del tambor</b>                       |   |                           |                           |                           |                            |                            |                            |
| <b>Potencia del motor</b>                         | 3 kW  | 4 – 5,5 kW                | 7,5 – 11 kW               | 15 kW                     | 30 kW                      | 30 – 45 kW                 | 30 – 55 kW                 |
| <b>Accesorio del tambor</b>                       |   |                           |                           |                           |                            |                            |                            |
| <b>Simp Drive® Flottweg</b>                       |   |                           |                           |                           |                            |                            |                            |
| <b>Capacidad</b>                                  | 5 – 10 m <sup>3</sup> /h  | 10 – 20 m <sup>3</sup> /h | 20 – 40 m <sup>3</sup> /h | 30 – 65 m <sup>3</sup> /h | 60 – 120 m <sup>3</sup> /h | 60 – 160 m <sup>3</sup> /h | 90 – 180 m <sup>3</sup> /h |

\* Los datos mencionados son valores orientativos. La capacidad real depende de las características de producto a tratar. Se reservan modificaciones técnicas.

XELLETOR

| DATOS TÉCNICOS DE LA SERIE XELLETOR DE FLOTTWEG* |   |                           |                            |
|--|---|---------------------------|----------------------------|
| Modelo   | XSE-4   | XSE-4                     | XSE-4                      |
| <b>Materiales de construcción</b>                | Todas las partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable o inoxidable de alta calidad, p.ej. 1.4404 (Duplex) y 1.4571 (AISI 316Ti) |                           |                            |
| <b>Dimensiones (L, AN, A)</b>                    | 3520 x 1140 x 1000 mm   | 4100 x 1520 x 1200 mm     | 4880 x 1720 x 1290 mm      |
| <b>Peso bruto</b>                                | 2780 kg   | 5000 kg                   | 8200 kg                    |
| <b>Potencia del motor</b>                        | 22 – 30 kW  | 45 – 75 kW                | 75 – 110 kW                |
| <b>Accesorio del tambor</b>                      |   |                           |                            |
| <b>Potencia del motor</b>                        | 7,5 – 11 kW   | 15 kW                     | 30 kW                      |
| <b>Accesorio del tambor</b>                      |   |                           |                            |
| <b>Simp Drive® Flottweg</b>                      |   |                           |                            |
| <b>Capacidad</b>                                 | 20 – 50 m <sup>3</sup> /h   | 30 – 75 m <sup>3</sup> /h | 60 – 140 m <sup>3</sup> /h |

\* Los datos mencionados son valores orientativos. La capacidad real depende de las características de producto a tratar. Se reservan modificaciones técnicas.





## SOLUCIONES MÓVILES PARA EL PROCESAMIENTO DE LODOS

### Conectar y deshidratar

En las plantas pequeñas de tratamiento de aguas, los costes de inversión para la deshidratación y el espesamiento de los lodos de depuración acumulados juegan un papel decisivo. En sistemas de deshidratación estacionarios, por ejemplo, la construcción de un nuevo edificio o la ampliación de un espacio ya existente pueden resultar en costes muy elevados.

Sin embargo, se puede prescindir de dichos costes con sistemas móviles de contenedores para la deshidratación de lodos; por ello, las soluciones que emplean contenedores son una alternativa práctica comparada con instalaciones de deshidratación e instalaciones de espesamiento estacionarias. Nuestra tecnología permite conectar los sistemas y comenzar con la deshidratación de manera inmediata.

Los sistemas móviles para el espesamiento o la deshidratación de lodos pueden instalarse de manera estacionaria para un uso duradero o emplearse durante unas pocas semanas o meses como una solución de emergencia; asimismo, pueden ampliarse de manera integralmente portátil en todo momento.

#### OPTIMIZADOS PARA USARLOS EN LOS ESPACIOS MÁS ANGOSTOS

- Todos los componentes del sistema están optimizados para usarse en el interior del contenedor portátil, cuyo espacio es limitado; ejemplos de dichos componentes pueden ser una instalación de polímeros adaptada de manera especial o una bomba de alimentación con estator intercambiable, para cuyo desmontaje no es necesario retirar los conductos de tubo; tampoco se necesita espacio adicional para el desmontaje.

- El amplio ángulo de giro del tambor sinfin de transporte permite llenar dos cubetas sin problema, con lo que se consigue un funcionamiento sin interrupciones.

#### DESHIDRATACIÓN DE LODOS POR UNA SOLA PERSONA

- Además de colocar y levantar el contenedor, la conexión de los conductos de entrada puede llevarse a cabo sin ayuda de una grúa y por una sola persona. Todos los cables están entubados y tendidos junto a la pared del contenedor, y se conectan desde fuera, por lo que en el interior del contenedor no es necesario colocar tubos flexibles o cables sueltos para su funcionamiento, lo que garantiza un manejo muy cómodo y la seguridad de las personas.

- El sistema puede limpiarse fácilmente gracias al uso de acero inoxidable y aberturas de desagua situadas en el chapado interior y la pared del contenedor. Los grifos de purga, instalados en los puntos inferiores de los conductos de tubo, contribuyen a que la limpieza sea sencilla.

La Decantadora Flomag C1E en un contenedor como componente de una solución de sistema



## GRAN COMODIDAD DURANTE TODO EL AÑO

- El techo puede abrirse en la zona de la contrí-fuga a lo largo de todo el ancho del contenedor o levantarse ligeramente para que entre aire fresco suficiente cuando se usa en verano. El techo puede abrirlo una sola persona con facilidad y de una manera segura usando el mecanismo hidráulico de elevación manual.
- El contenedor está perfectamente preparado para usarlo en invierno gracias al aislamiento del techo y las paredes. Un calentador adicional y una cortina industrial en la zona del tornillo de arranque de transporte garantizan que el interior no se congele y, además, hacen que se pueda trabajar con comodidad.
- Si el cliente lo desea, puede instalarse un sistema de calefacción para los conductos de en-

trado y salida, lo que también garantiza que la seguridad operativa sea máxima.

### Pruebe primero ... luego decida

Queremos que nuestros sistemas portátiles para la deshidratación de lodos demuestren su capacidad en condiciones reales. Por ese motivo, las empresas de depuración tienen la posibilidad de hacer pruebas exhaustivas en sus instalaciones antes de invertir en nuestros sistemas. Para ello, nuestros contenedores portátiles pueden alquilarse para realizar pruebas o para proyectos de duración limitada.

De esa manera Ud. puede reducir la cantidad de lodos ahorrando así costos de eliminación. Para mayor información, véase [www.flottweg.com](http://www.flottweg.com).

Decorredora Flottweg CSE en el contenedor con armario eléctrico separado



## CALIDAD ...

### CERTIFICADOS DE MATERIALES

Tenemos certificados para los materiales de los componentes en contacto con el producto como la caja, el tornillo y el tambor según la norma 3.1 & 2.2 EN 10204. Estos certificados aseguran el alto nivel de calidad de Flatweg.



### CERTIFICACIÓN AEO

Con esta certificación, basada en el Reglamento (UE) n.º 300/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo del 11 de marzo de 2008, Flatweg asegura a los clientes, incluso en el futuro, un suministro rápido en el mercado mundial. En relación con la certificación aduanera AEO F de julio de 2011, este importante sello de calidad también garantiza a los clientes un servicio de máxima calidad en todo el mundo.



### GESTIÓN DE CALIDAD SEGÚN LA NORMA DIN EN ISO 9001

En 2017, Flatweg fue certificado por primera vez según la más reciente norma internacional DIN EN ISO 9001:2015. Este reconocimiento a la calidad constituye ser la base del éxito de Flatweg asegurando a nuestros clientes a largo plazo la mejor calidad de productos y de servicios.





## ... Y SERVICIO



### OFRECER ALTA DISPONIBILIDAD ES NUESTRA FORTALEZA

Una eficiente planificación del proyecto de acuerdo a cada aplicación, un diseño eficiente, un alto nivel de fabricación y un servicio de mantenimiento apropiado son pre-requisitos necesarios para una operación sin problemas. Nuestros experimentados y competentes técnicos del departamento de servicio postventa están a su entera disposición cuando sea necesario. El Grupo de Servicio Flottweg también proporciona un servicio de mantenimiento preventivo para evitar paradas no previstas en la producción.

### SERVICIO POST-VENTA

La mejor maquinaria también requiere mantenimiento y servicio. Flottweg dispone de una red mundial de sucursales, empresas afiliadas y representaciones establecidas desde hace muchos años para poder proveer a nuestros clientes servicios de post-venta y de repuesto. Nuestros ingenieros y técnicos están calificados para realizar cualquier tipo de instalaciones, puesta en marcha, reparaciones y mantenimiento.

### FLOTTWEG EN EL MUNDO

Flottweg está ubicada en Wittiburg (cerca de Munich), Alemania y cuenta con una red comercial y de servicio postventa en todo el mundo, con sucursales en Australia, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Francia, Italia, México, Perú, Polonia y Rusia así como representaciones en prácticamente todos los países del mundo. En nuestra página web puede encontrar su contacto: [www.flottweg.com](http://www.flottweg.com)

### Los Servicios de Flottweg incluyen

- Asesoría competente en materia de procesos de separación
- Pruebas piloto en sitio o en el laboratorio y ensayo de pruebas Flottweg
- Instalación y especificaciones de los equipos
- Automatización e integración en el proceso según los requerimientos del cliente
- Diseño y construcción de completos sistemas del proceso
- Instalación, puesta en marcha, servicio de mantenimiento, reparaciones y suministro de piezas de repuesto en todo el mundo



## Flottweg Separation Technology – Engineered For Your Success



Flottweg SE  
Industriestraße 6-8  
84137 Vilsbiburg  
Deutschland (Germany)

Tel : +49 8741 301-0  
Fax: +49 8741 301-300

[mail@flottweg.com](mailto:mail@flottweg.com)  
[www.flottweg.com](http://www.flottweg.com)

REPRESENTATIVE

PHOTO: ANDRÉ STREIB

