

GRADO EN INGENIERIA QUIMICA INDUSTRIAL  
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR - SEVILLA



# Renodar

REDUCE | RECICLA | REUTILIZA

FRANCISCO JESUS RODRIGUEZ ORTIZ

[curror90@gmail.com](mailto:curror90@gmail.com)

# INDICE

## INTRODUCCION

### 1. MATERIA PRIMA

- 1.1. Composición química
- 1.2. Propiedades físicas

### 2. PRODUCTO

### 3. SUBPRODUCTO

### 4. LINEA DE AGUA

- 4.1. Obra de llegada
- 4.2. Pretratamiento
  - 4.2.1. Desbaste
  - 4.2.2. Desarenado-desengrasado
- 4.3. Tratamiento biológico
  - 4.3.1. CBR. Biodisco
  - 4.3.2. Decantador

### 5. Línea de fango

- 5.1. Espesamiento
- 5.2. Digestión anaerobia
- 5.3. Deshidratación
  - 5.3.1. Centrifugación
- 5.4. Tratamiento térmico
  - 5.4.1. Contenido de nutrientes para su uso agrícola



## **6. LINEA DE BIOGAS**

- 6.1. Introducción
- 6.2. Características y composición
- 6.3. Instalación de biogás
  - 6.3.1. Limpieza

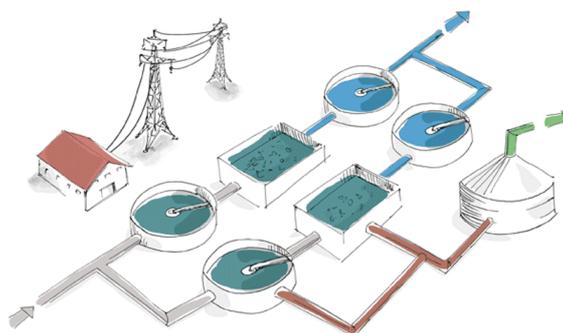
## **7. VALORIZACIÓN**

- 7.1. Cogeneración
- 7.2. Producción de biometano para inyección en red de gas natural
- 7.3. Aprovechamiento del CO<sub>2</sub>
  - 7.3.1. Extracción de carotenoides de algas
  - 7.3.2. Extracción de biopolímeros
- 7.4. Aprovechamiento del H<sub>2</sub>S
- 7.5. Aprovechamiento de los siloxanos



## INTRODUCCION

Las **EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales)** son plantas dedicadas a la depuración de aguas residuales cuya función básica es recoger las aguas de una población o industria, y después de reducir la contaminación mediante ciertos tratamientos y procesos, la devuelve a su cauce receptor como puede ser un río, embalse, mar...



Estos tratamientos que se dan en una EDAR pueden ser de dos tipos:

- Tratamientos físico-químicos: se añaden reactivos químicos para favorecer la decantación de los sólidos en suspensión.
  - Ventaja: mayor producto aprovechable.
  - Inconveniente: grandes gastos.
- Tratamientos biológicos: se añaden microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, transformándola en sólidos sedimentables más fáciles de separar.

## 1. MATERIA PRIMA

La materia prima que se va a tratar que trataremos el **agua residual urbana**. Son las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial (arrastres de lluvia, excretas, residuos domésticos, infiltraciones, etc).

### 1.1. Composición química

Por su homogeneidad, podemos hablar de aguas residuales urbanas o asimilables a urbanas, cuya composición es bastante uniforme (siempre es más o menos la misma dependiendo de los hábitos alimenticios, el consumo de agua, el uso de productos de limpieza, etc.).

El material contaminante en el agua residual se clasifica en dos tipos: material de origen orgánico y material de origen inorgánico.

La contaminación orgánica en las aguas residuales urbanas se debe principalmente a excretas humanas, aceites y grasas, tensioactivos y plaguicidas. Es la concentración mayoritaria de residuos que contiene las aguas.



- Los aceites y grasas al tener menor peso específico que el agua tiende a posicionarse en la superficie impidiendo la oxigenación del agua y la penetración de la luz solar.
- Los tensioactivos son la materia activa de los detergentes utilizados para la limpieza, estos generan dos problemas principales, consumen oxígeno y generan espumas, a su vez, las espumas al posicionarse en la superficie impiden la oxigenación del agua y el paso de la luz solar.
- Los plaguicidas inhiben la depuración biológica, ya que pueden matar muchas bacterias destinadas a la depuración.

Para la estimación de la materia orgánica en el agua se han definido tres parámetros:

- **DBO** (demanda biológica de oxígeno, mg O<sub>2</sub>/L), es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia presente en el agua, esta oxidación es mediante bacterias.
- **DQO** (demanda química de oxígeno, mg O<sub>2</sub>/L), es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia presente en el agua, esta oxidación es química, pues se hace mediante dicromato potásico, añadido a una muestra a 150°C, hasta que no queda nada por oxidar, la cantidad de dicromato consumida es proporcional a la cantidad de oxígeno.
- **COT** (carbono orgánico total), mide la cantidad de carbono procedente de la materia orgánica, se realiza por oxidación selectiva de carbono para formar CO<sub>2</sub>.

Para una misma muestra, la DQO siempre será mayor o igual que la DBO, y la COT suele estar entre los dos valores anteriores.

Por otro lado, para la contaminación inorgánica de las aguas residuales urbanas, se calculan otro tipo de parámetros durante la depuración que nos sirven de ayuda para controlar nuestra planta. Estos parámetros pueden ser: N, P, Cl<sup>-</sup>, O<sub>2</sub> disuelto, etc.

En la siguiente tabla se recogen valores de distintos parámetros que aportan información sobre la composición química de un agua residual urbana.

PARAMETRO	CONTAMINACIÓN FUERTE	CONTAMINACIÓN MEDIA	CONTAMINACIÓN BAJA
Sólidos totales (ST)	1000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión totales (SST)	500	300	100
Volátiles	400	250	70
Fijos	100	50	30
S <sub>T</sub> Totales	250	180	40
Volátiles	100	72	16
Fijos	150	108	24
Sólidos disueltos totales	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
DBO <sub>5</sub> (20°C)	300	200	100
DQO	800	450	160
Oxígeno disuelto	0.0	0.1	0.2
N total	86	50	25
Orgánico (N)	35	20	10
Amónico libre (N-NH <sub>3</sub> )	50	30	15
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	0.10	0.05	0.00
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	0.4	0.2	0.1
P total	17	7	2
Cloruros	175	100	15
pH	6-9	6-9	6-9
Grasas	40	20	0

\*en mg/l a excepción del pH



## 1.2. Propiedades físicas

Distinguimos tres tipos de características que poseen las aguas residuales urbanas:

➤ Características físicas:

- **Temperatura:** suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo.
- **Turbidez:** como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua. Esta se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.
- **Color:** este parámetro hace referencia a la edad del agua residual. Suele tener un color grisáceo, pero al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro (séptica).

➤ Características químicas:

- **Materia orgánica:** son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (por ejemplo, urea, constituyente de la orina o los agentes tensioactivos de los detergentes). En su mayoría son combinaciones de C, H y O, con la presencia, en determinados casos, de N.

El principal aporte de materia orgánica a las aguas son las proteínas, hidratos de carbono y aceites y grasas.

- **pH:** la concentración de iones hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual, con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas, presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica durante nuestro proceso de depuración, la cual debemos mantener en un margen de pH 6-9.
- **Dureza:** es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua “dura” contiene valores altos de dichas sales, al contrario que el agua “blanda”.



➤ Características biológicas:

- **Bacterias:** son microorganismos procariotas de pequeño tamaño que presentan diversas formas. Juegan un papel importante en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, por lo que habrá que controlar también su presencia en las etapas de nuestra planta.
- **Protozoos:** son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. La mayoría de ellos son aerobios, y se alimentan de las bacterias y otros microorganismos microscópicos. Son relevantes tanto para el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.
- **Virus:** son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ADN o RNA con una capa de recubrimiento proteínico. Se presentan en grandes cantidades y es necesario un esfuerzo y control mayor por parte tanto de biólogos como de ingenieros.

Se han citado algunos ejemplos representativos de cada tipo de las propiedades del agua, aunque existen muchos más como pueden ser el olor, cloruros, nitratos, algas, etc.

## 2. PRODUCTO

Nuestro producto son las aguas depuradas de nuestra EDAR después de haberle realizado los tratamientos expuestos anteriormente como materia prima. Estas aguas que se vierten a los distintos efluentes son utilizadas en su mayor extensión para fines agrícolas destinados al consumo directo alimenticio humano y animal, y consumo indirecto industrial.

En cuanto a propiedades físicas estas aguas deben de salir de la depuradora con una temperatura similar a la de entrada, es decir, de entre unos 10 y 21°C, sin apenas turbidez y con un color no del todo transparente.



Para el caso de la composición química, la ley nos hace cumplir unos criterios o parámetros de calidad, los cuales están impuestos por legislación para que no causen las aguas de riego ningún problema general tanto a la planta como al suelo.

En las próximas tablas mostramos dichos valores que han de cumplirse, así como de las cantidades de los distintos parámetros (composición) para saber que contaminación se está produciendo:



REAL DECRETO 509/1996			
ANEXO I, CUADRO I			
PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN	% MINIMO REDUCCION	METODO. MEDIDA REFERENCIA
DBO <sub>5</sub>	25 mg/L O <sub>2</sub>	70 - 90%	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Aplicación de inhibidor de nitrificación.
DQO	125 mg/L O <sub>2</sub>	75%	Muestra homogeneizada, sin filtrar, ni decantar. Dicromato potásico.
SST	35 mg/L	90%	Filtración muestra a 45 micras. Secado 105°C, pesaje. Centrifugación muestra. Secado 105°C, pesaje.

REAL DECRETO 509/1996			
ANEXO I, CUADRO II			
PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN	% MINIMO REDUCCION	METODO. MEDIDA REFERENCIA
Fósforo Total	2 mg/L P	80%	Espectroscopia de absorción molecular
Nitrógeno Total	15 mg/L N	70 - 80%	Espectroscopia de absorción molecular

PARÁMETROS	UNIDADES	NINGUNO	MODERADO	SEVERO	TIPO DE RIEGO
Sodio	mg/l Na	70	>70		R.A.
Cloruros	mg/l Cl	100	<100		R.A.
		140	350	>350	R.S.
Bicarbonatos	mg/l CaCO <sub>3</sub>	90	500	>500	R.A.
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	200	400	>400	
pH		6.5-8.4	4.5-9	4.5-9>	
S.S.	mg/l	15	>15		R.A.
		20	120	>120	R.S.
Cloro residual	mg/l Cl	1	5	>5	R.A.
DBO	mg/l O <sub>2</sub>	15	>15		R.A.
		20	60	>60	R.S.
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	120	300	>300	
N total	mg/l N	5	30	>30	



Este control de parámetros en la composición química de las aguas residuales está directamente relacionado con la peligrosidad de verter ciertos compuestos que son perjudiciales para el medio ambiente. Con los que se debe tener especial cuidado son los siguientes:

Elemento	Máximo (ppm)(b)	Observaciones
Aluminio	5,0	Puede provocar falta de productividad en suelos ácidos pH< 5.5, en suelos más alcalinos precipitarán el ión y eliminan cualquier toxicidad.
Arsénico	0,10	Su fototoxicidad varía ampliamente entre 12 ppm para la hierba del Sudán hasta menos de 0,5 ppm para el arroz.
Berilio	0,10	Su fitotoxicidad varía ampliamente (5 ppm col rizada-0,5 judías verdes).
Cadmio	0,01	Tóxico para las judías, la remolacha y los nabos a concentraciones de 0,1 mg/l en disolución. Límites recomendados conservadores por su capacidad para acumularse en suelo y en plantas hasta concentraciones perjudiciales para las personas.
Cobalto	0,05	Tóxico el tomate a 0,1 mg/l en disolución. Inactivado por suelos neutros o alcalinos.
Cromo	0,1	No considerado como elemento esencial para el crecimiento. Límites recomendados conservadores por debido escasos conocimientos sobre su fitotoxicidad.
Cobre	0,2	Tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0,1 y 1,0 mg/l en disolución.
Fluoruros	1,0	Es inactivado por suelos neutros o alcalinos.
Litio	2,5	Tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l. Elemento móvil en el suelo. Tóxico para los cítricos a partir de 0,075 mg/l. Actúa en forma similar al Boro.
Manganeso	0,2	Tóxico para diversas plantas a concentraciones entre unas décimas y unos miligramos por litro, aunque principalmente en suelos ácidos.
Molibdeno	0,01	No es tóxico para las plantas en concentraciones normalmente presentes en el suelo y en el agua. Puede ser tóxico para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con elevadas concentraciones de molibdeno disponible.
Níquel	0,2	Tóxico para diversas plantas a concentraciones entre 0,5 y 1,0 mg/l; su toxicidad disminuye a pH neutro o alcalino.
Plomo	5,0	Puede inhibir crecimiento de células vegetales a concentraciones muy elevadas.
Selenio	0,02	Tóxico para las plantas a partir de 0,025 mg/l y para el ganado cuando el forraje se cultiva en suelos con niveles relativamente altos de selenio añadido. Elemento esencial para el crecimiento de los animales en concentraciones muy pequeñas.
Estaño		Las plantas lo rechazan de forma eficaz; tolerancia específica desconocida.
Titanio		Comportamiento similar al estaño
Tungsteno		Comportamiento similar al estaño
Vanadio	0,1	Tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas.
Zinc	2,0	Tóxico para muchas plantas a concentraciones muy variables. Toxicidad disminuye a pH>6,0 y en suelos con textura fina o de carácter orgánico.



### 3. SUBPRODUCTO

Como subproducto principal se va a obtener el **lodo**. Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales.

Con carácter general, los lodos se tratan en la propia depuradora para reducir su contenido en agua, en patógenos y asegurar la estabilidad de la materia orgánica. Estos tratamientos biológicos más frecuentes son:

- La digestión anaerobia.
- El compostaje.

En *RENODAR*, serán tratados mediante espesadores y digestores, que tratarán de quitar toda el agua posible y hacer un subproducto de alta calidad para fines agrícolas (abono o compostaje).

### 4. LINEA DE AGUA

#### 4.1. Obra de llegada.

En este proceso se realiza la separación de sólidos de gran tamaño (>3 mm) o de una gran cantidad de arenas que vienen en el agua bruta, el cuál, consiste en un pozo situado a la entrada del colector de la depuradora, de tronco piramidal invertido y paredes muy inclinadas, con el fin de concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz, ya que posteriormente podría existir problemas por obstrucción en tuberías o por rotura de equipos (grasas, aceites, ramas, latas...).

La extracción de los residuos se realiza con cucharas bivalvas de accionamiento electrohidráulico.

Los residuos separados con esta operación se almacenan en contenedores para posteriormente transportarlos a un vertedero o llevarlos a incineración.

En este sistema las tareas de explotación consistirán en la retirada de estos grandes sólidos, para evitar que estos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta, y la de limpiar el fondo del pozo para que no se produzca anaerobiosis, y consecuentemente malos olores. También debemos de vaciar el contenedor de forma regular (una vez por cada semana), y si esto no es posible, utilizar un contenedor tapado.



## 4.2. Pretratamiento.

Con un pretratamiento pretendemos separar del agua residual tanto por operaciones físicas como por operaciones mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza (grasas, aceites, etc.) o por su tamaño (ramas, latas, etc.) crearían problemas en los tratamientos posteriores (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos).

Las operaciones de pretratamiento incluidas en la *RENODAR* son:

- Desbaste.
- Desarenado/desengrasado.

### 4.2.1. Desbaste.

Los objetivos de este proceso son:

- Proteger a la EDAR de la posible llegada de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las diferentes unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos posteriores.

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja.

El desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes, utilizando en esta planta un desbaste grueso (separación libre entre barrotes de 50-100 mm).

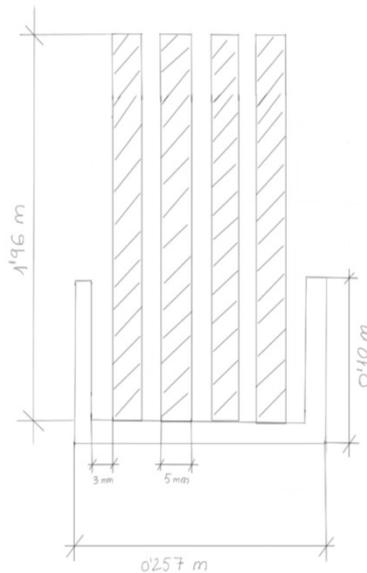
Los residuos recogidos son transportados hacia los contenedores por un equipo tornillo transportador-compactador, que compacta los sólidos separados por el tamiz entre un 35-40%. Los residuos se deben de vaciar regularmente, al menos una vez por semana.

#### Dimensionado. Desbaste.

Para realizar el diseño del canal de desbaste, tenemos los siguientes parámetros de diseño que se deben de cumplir:

- V acercamiento: 0,5 – 0,8 m/s
- V paso tamiz: 0,9 – 1,8 m/s
- H laminar de agua: 0,1 m

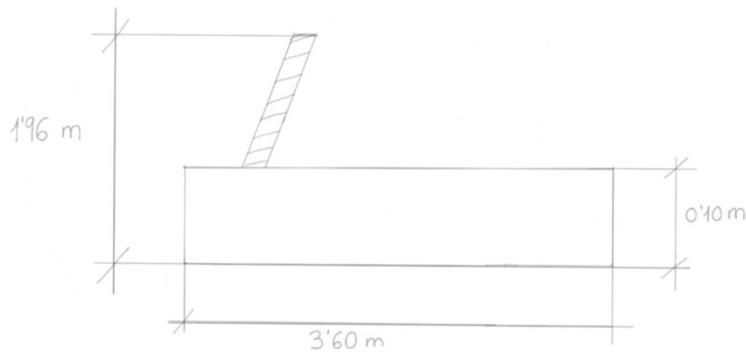




Vacercamiento= 0,6 m/s

Vpaso tamiz= 1,5 m/s

H lámina H<sub>2</sub>O= 0,1 m



#### 4.2.2. Desarenado-desengrasado.

El objetivo en el tratamiento de desarenado es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

En esta operación eliminamos también otros elementos de origen orgánico no putrescibles, como granos de café, semillas, huesos, cascara de frutas y huevos, que sedimentan a la misma velocidad que las partículas de arena y cuya extracción no interesa.

Este problema se evita con el llamado **Barrido o Limpieza de Fondo**. Se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden volver a ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente.



El objetivo de la zona de desengrasado es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. El desengrasado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desarenado es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad de las grasas.

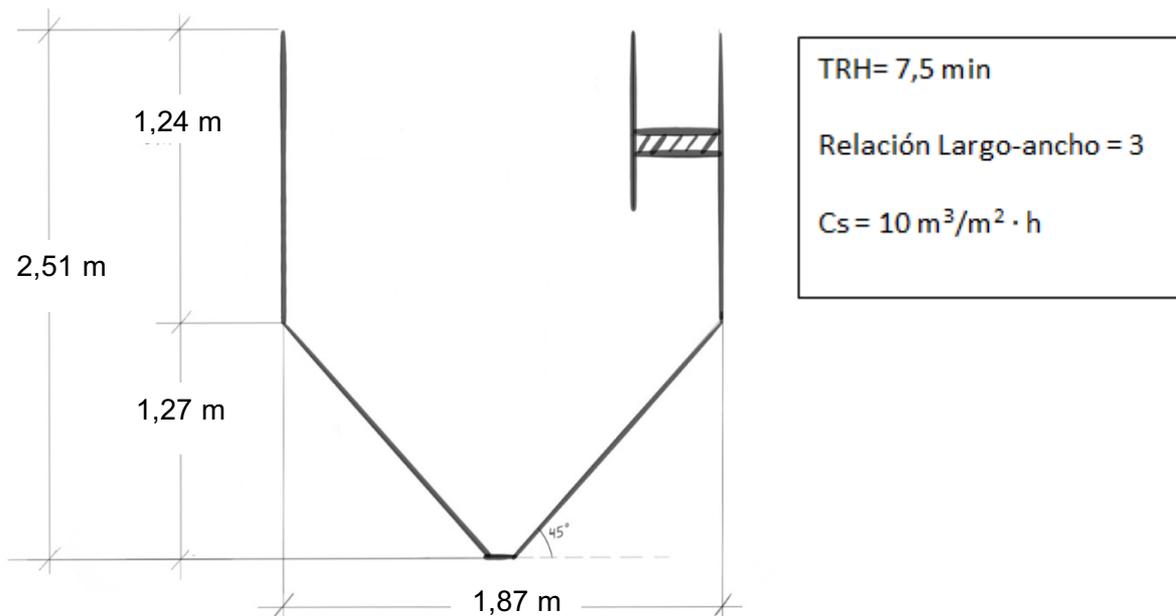
Las arenas y grasas extraídas las almacenaremos en diferentes tanques para aprovecharse en caso de una obra civil de mantenimiento de la planta, realizando una especie de mezcla entre ambas.

En *RENODAR* optamos por un sistema de desarenado-desengrasado conjunto en un mismo recinto, teniendo la necesidad de crear una zona de tranquilización donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y las arenas sedimentan en el fondo y son eliminadas por barrido.

### Dimensionado. Desarenador-desengrasador.

Para calcular las dimensiones del desarenador-desengrasador, tenemos que tener en cuenta estos parámetros de diseño:

- TRH (Tiempo de retención hidráulica): 5 – 15 min
- Relación largo-ancho: 3-8
- Cs (Carga superficial): 10-30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h





## 4.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El objetivo prioritario en un tratamiento biológico es la reducción de  $\text{DBO}_5$  y DQO del agua residual a tratar. Gracias al desarrollo de ecosistemas de diferentes tipos de bacterias se alcanzan rendimientos en este ámbito de hasta el 95%.

Podemos decir que el objetivo principal lo alcanza mediante tres pasos fundamentales:

- Transformar y disolver componentes biodegradables en productos finales aceptables.
- Capturar e incorporar sólidos coloidales no sedimentables a un floculo biológico, también llamado biopelícula.
- Transformar o remover nutrientes como nitrógeno y fósforo.

El tratamiento biológico se realiza mediante la acción de microorganismos que consumen la materia orgánica y la transforman en nuevas células biodegradables o fáciles de retirar. Las nuevas células forman flóculos más pesados que deben separarse del agua con el fin de completar el tratamiento.

Los microorganismos principales que intervienen en los sistemas de tratamiento son: bacterias, protozoos y metazoos.

Las bacterias se encargan de la transformación de la materia orgánica, mientras que los protozoos ayudan a mantener la población bacteriana y a darle densidad a la biomasa.

La presencia de metazoos en el agua del tratamiento biológico es menor que la de protozoos. Podemos encontrar de dos tipos: rotíferos y nematodos. La presencia abundante de rotíferos es un indicador de un buen nivel de tratamiento del agua.

Por su afinidad con el oxígeno, los microorganismos pueden ser aerobios si necesitan el oxígeno para su crecimiento, anaerobios cuando no requieren el oxígeno para desarrollarse, o facultativos cuando pueden crecer en ambas condiciones.

### 4.3.1. Contactor biológico rotativo. Biodiscos.

Los contactores biológicos rotativos (CBR) son reactores de película fija similares a los biofiltros porque los organismos se unen a los medios de soporte. En el caso del CBR, los medios de soporte giran lentamente y son discos que están parcialmente sumergidos en aguas residuales que fluyen en el reactor.





El oxígeno se suministra a la biopelícula adjunta desde el aire cuando la película está fuera del agua y del líquido cuando se sumerge, ya que el oxígeno se transfiere a las aguas residuales por la turbulencia de la superficie creada por la rotación de los discos.

Una película biológica crece en la superficie del medio de soporte. Se trata de una de una serie de discos montados sobre un eje y se colocan en un depósito con una forma adecuada para adaptarse a los discos. Los discos son normalmente de plástico o algún otro material resistente no corrosivo.

El CBR tiene un tambor que está girando lentamente, entre un tercio y un medio del equipo se encuentra sumergido en el agua residual a tratar.

La velocidad de rotación es generalmente de alrededor de 1 - 4 rpm. La rotación del disco lleva la película biológica en contacto con las aguas residuales para la eliminación de los compuestos orgánicos y con la atmósfera para la absorción de oxígeno.

El exceso de biomasa (biopelícula) generada durante el ciclo se desprende por las fuerzas de rozamiento ejercidas. Dicho exceso de biomasa es generalmente eliminado en un decantador secundario que se instala a la salida del CBR.

En la actualidad, se emplea como una solución apropiada para la depuración de aguas residuales en pequeños núcleos de población.

Este equipo presenta una serie de ventajas:

- Poca superficie para su instalación.
- Bajo consumo energético
- Tiene un bajo nivel de ruidos debido a la escasa potencia instalada.
- Mantienen buenos rendimientos en climas fríos porque están cubiertos y mantienen la temperatura del agua residual.

### **Dimensionamiento del CBR (Biodiscos)**

#### **Modelo CBR (Biodiscos) utilizado**

Modelo 375/600/3

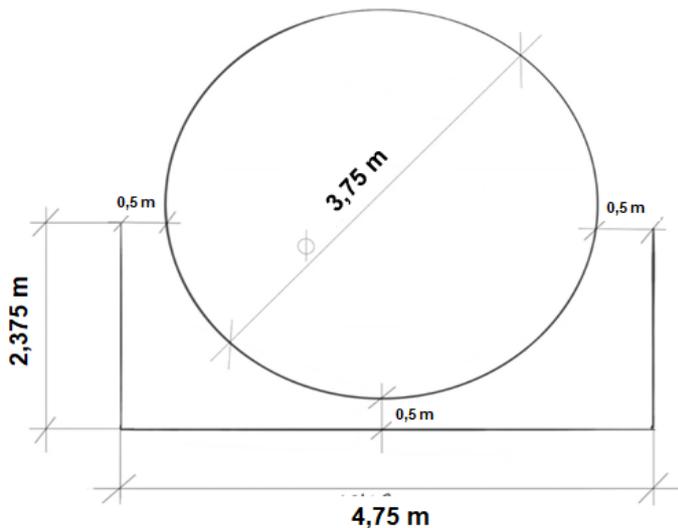
#### **Bañera:**

- Base: 4.75 m
- Altura: 2.375 m
- Separación bañera – CBR: 0.5m (Por cada lado y por debajo)

#### **Biodiscos**

- Diámetro: 3.75 m





### 4.3.2. Decantador.

Su objetivo principal es la reducción de los sólidos en suspensión (SS) del agua residual.

Dentro de estos SS pueden distinguirse:

- Sólidos sedimentables: son los que sedimentan al dejar el A.R. en condiciones de reposo durante una hora.
- Sólidos flotantes: definibles por contraposición a los sedimentables.
- Sólidos coloidales (tamaño entre 10-3-10 micras).

El decantador utilizado en *RENODAR* es un **decantador circular**. En general, el agua entra por el centro del decantador y es recogida en toda la periferia del mismo. Frente a este sistema se ha desarrollado el de alimentación periférica con salida del agua bien central o bien periférica. Se evita las perturbaciones producidas por la disipación de la energía del agua en la entrada mediante la instalación de deflectores o corona de reparto.

La salida habitual del agua es a través de un vertedero triangular que, aunque no es el óptimo desde el punto de vista de pérdidas de carga hidráulicas y de reparto (al considerar el posible error de nivelación), sí lo es al considerar las amplias variaciones del caudal.

La evacuación de los fangos puede contener tres pasos:

- **Acumulación.** Puede realizarse de dos formas básicas: por gravedad o mediante equipos mecánicos. La primera se consigue con un fondo inclinado en forma de tolva del decantador, pero cuando las dimensiones de éste son excesivamente grandes hay que recurrir a equipos mecánicos que acumulen el fango sedimentado, por arrastre, en uno o varios puntos fijos de extracción, mediante rasquetas que barren la solera del decantador o bien mediante extracción de fangos por succión (creada por



depresión hidráulica o por vacío) sin necesidad de acumulación, esta práctica es principalmente usada en la decantación secundaria del proceso de fangos activos y en caso de grandes diámetros de decantador (> 30 m).

El equipo de rasquetas puede adoptar principalmente dos alternativas diferenciadas por su sistema de accionamiento: Central o periférico (Un puente radial al que van unidas las rasquetas gira sobre una rueda tractora accionada por un motorreductor que rueda por la coronación del muro periférico del decantador). A su vez, la estructura de las rasquetas puede ser variada, siendo la básica la de espina de pez, consistente en varias rasquetas equidistantes formando un ángulo constante con el radio del decantador, y que arrastran una partícula desde la periferia al centro del decantador, haciendo pasar la partícula de una rasqueta a otra.

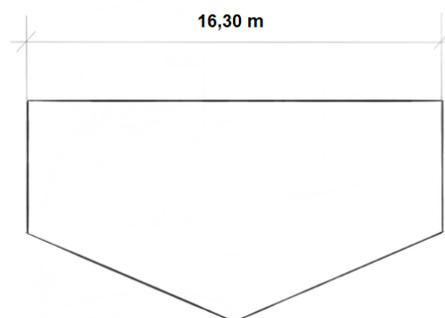
- **Almacenamiento.** Se realiza normalmente en pocetas ubicadas en la solera del decantador, situadas en el centro del decantador en el que a veces se coloca un sistema de rasquetas o paletas de espesamiento, para aumentar la concentración del fango antes de su extracción.
- **Extracción.** Se puede realizar automáticamente o manual (nunca es aconsejable la extracción manual, ni aún en las pequeñas depuradoras). En ambos casos, la extracción es periódica, por lo que el automatismo consiste en la temporización regular de los tiempos de funcionamiento y parada del sistema de extracción. Éste se materializa bien en válvulas automáticas o bien en bombas especiales para fangos.

La eliminación de flotantes se realiza disponiendo delante del vertedero de salida una chapa deflectora que evita la salida de los flotantes. Para su acumulación los sistemas de rasquetas disponen generalmente de barredores superficiales que los arrastran hasta el punto de extracción, consistente, en una tolva que a veces dispone de una rampa por donde sube parte de la barredora.

En *RENODAR* vamos a utilizar un solo decantador, debido a que la población es muy pequeña y no nos sale rentable utilizar más de un decantador. Por lo cual, este decantador realizará el mismo proceso que los que realizaría el primario y el secundario por separado.

### Dimensionamiento del decantador

- Parámetros de diseño:
- Caudal diario
- Caudales tratamiento



## 5. LINEA DE FANGOS

Los fangos procedentes del decantador son muy reactivos debido a la materia orgánica que contienen, y son extremadamente líquidos, conteniendo aproximadamente entre 1,5 - 0,5 % de materia seca. La materia orgánica que contiene hace que, si no se tratan adecuadamente, entren fácilmente en descomposición generando malos olores.

Los objetivos del tratamiento de fangos son reducir su volumen y reducir su poder fermentativo, es decir, disminuir la concentración de materia orgánica para evitar reacciones de descomposición incontroladas. Para ello:

- Se reduce el agua presente para disminuir su volumen y hacerlos más manejables.
- Se estabiliza la materia orgánica para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
- Se consigue la textura adecuada para un fácil manejo y transporte.

Tras haber empleado el tratamiento a los lodos, el fango podemos gestionarlo como fuente de energía, o bien ser utilizado como abono en la agricultura, o llevarlo a un vertedero controlado si se clasifica como residuo no apto para la agricultura.

### 5.1. Espesamiento.

En este proceso, se elimina parte de la fracción líquida, concentrando así la proporción sólida de los fangos y reduciendo, a su vez, su volumen.

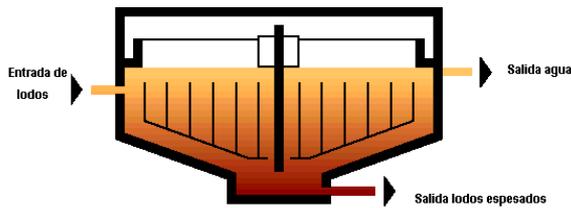
La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para las siguientes etapas del tratamiento desde los siguientes puntos de vista:

- Se puede disminuir la capacidad de tanque y equipos necesarios.
- Se necesita menor cantidad de reactivos químicos para el acondicionamiento del fango.
- La cantidad de calor necesario para los digestores y la cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración también disminuye.

Los métodos principales de espesamiento son:

- **Espesamiento por gravedad:** los fangos se introducen en un sedimentador en el que, con un tiempo de residencia de 1 – 2 días, se concentra el fango en la parte inferior ya que posee una densidad mayor que el agua. Este tipo de espesadores se emplea para fangos primarios, de forma que pueden pasar de una concentración del 1,5% hasta el 5 – 6% pasado este proceso.





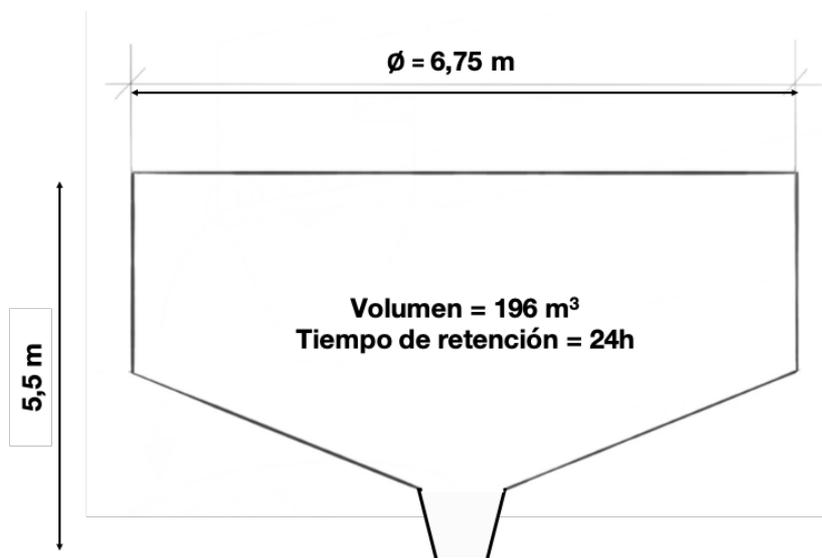
El espesador es una cuba cilíndrica, normalmente cubierta para evitar la proliferación de malos olores. Dispone de unas rasquetas que van empujando los fangos sedimentados hacia la zona central para su evacuación.

Figura. Espesador por gravedad de fangos.  
(<https://www.Pinterest.com>)

- **Espesamiento por flotación:** Se emplea para separar la fase sólida de la líquida y concentrar los fangos en la parte superior del tanque, debido a que su densidad es menor que la del agua. Consigue aumentar la concentración de sólidos de un 0,5 – 1% hasta un 3 – 5%. La recogida de los fangos concentrados se realiza por la parte superior del flotador. Se emplea a fangos procedentes del decantador secundario, debido a que son más ligeros, facilitándose así su flotabilidad.

La fase líquida extraída de los fangos será recirculada hacia cabecera de planta.

### Dimensionamiento espesador.



#### Parametros de diseño.

- Concentración fangos
- Índice producción fangos
- %M volátil fangos exceso



## 5.2. Digestión anaerobia.

Es uno de los procesos más extendidos y utilizados en la estabilización de fangos. Consiste en la descomposición de la materia contenido en el fango en ausencia total de oxígeno, mediante la acción de microorganismos generando un lodo estabilizado y, además, con la producción de biogás.

Es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de bacterias involucradas. Transcurre en varias etapas en las que, las bacterias anaerobias descomponen sustancias de altos pesos moleculares y las transforman en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

Las fases de la digestión anaerobia son:

- **Hidrólisis:** en esta fase, las enzimas producidas por las bacterias hidrolíticas descomponen las moléculas de alto peso molecular (lípidos, proteínas e hidratos de carbono). Tras esta descomposición, se forman compuestos más simples, que estarán disponibles para los microorganismos ya que éstos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global de la digestión, sobre todo cuando se trata de residuos con alto contenido en sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico (TRH), de la composición del sustrato, del tamaño de partículas y del pH.

- **Acidificación:** también llamado acidogénesis, las bacterias anaerobias transforman las moléculas orgánicas solubles (formadas en la hidrólisis) en compuestos orgánicos de menor peso molecular, como en alcoholes, ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.
- **Acetogénesis:** mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (como el hidrógeno y ácido acético), otros como el etanol o los ácidos grasos volátiles deben ser transformados en productos más sencillos. Las bacterias acetogénicas convierten los ácidos y alcoholes formados en la fase anterior en ácido acético, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.
- **Metanogénesis:** Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de CO<sub>2</sub> a partir del ácido acético y ácido fórmico, y la formación de metano a partir del hidrógeno y CO<sub>2</sub>. La ecuación simplificada del proceso es la siguiente:



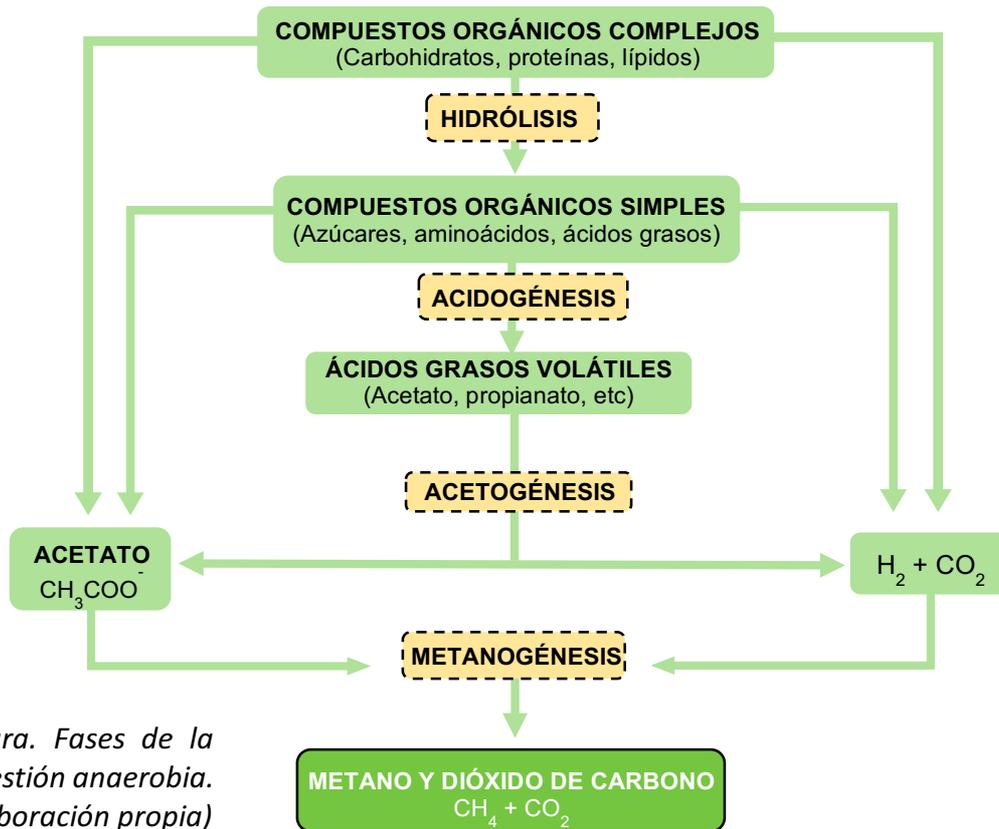
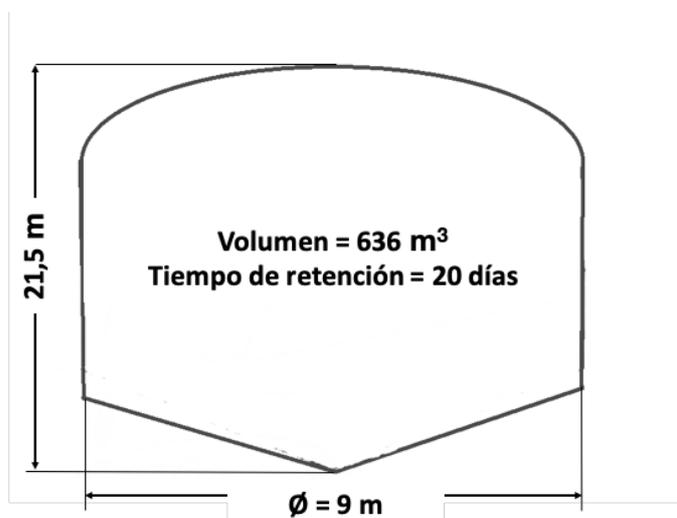


Figura. Fases de la digestión anaerobia.  
(Elaboración propia)

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo a una temperatura entre 30–40°C. En estas condiciones, es necesario un tiempo de retención de 20 días aproximadamente para eliminar el 50% de la materia orgánica, valor que varía dependiendo de las características del fango y las condiciones de la operación.

### Dimensionado digester anaerobio.



#### Parámetros de diseño.

- TRH
- Volumen fangos espesados a digester
- %M volátil fangos exceso



## 5.3. Deshidratación.

En este proceso se reduce el volumen del fango estabilizado, mediante la eliminación del agua que se encuentra ocupando los poros de los flocúlos. Existen diversos métodos para deshidratar el fango, ya sea naturales o mecánicos. Los primeros consisten en un secado por evaporación, que suele emplearse en pequeñas depuradoras, mientras que las mecánicas consisten en filtros tipo bandas o prensa, de vacío y centrifugas.

### 5.3.1. Centrifugación.

En *RENODAR*, sometemos a los fangos a un proceso mecánico de centrifugación, ya que es uno de los más eficaces dentro del proceso de deshidratación. Se emplea tanto para concentrar como para deshidratar fangos.

Esta operación se basa en la acción centrípeta para la separación sólido-líquido por diferencia de densidades. Se realiza mediante un sistema cerrado que consta de un rotor cilíndrico-cónico horizontal con un tornillo sinfín girando en el mismo sentido, pero con velocidad distinta para permitir el arrastre de los fangos hacia la zona de evacuación.

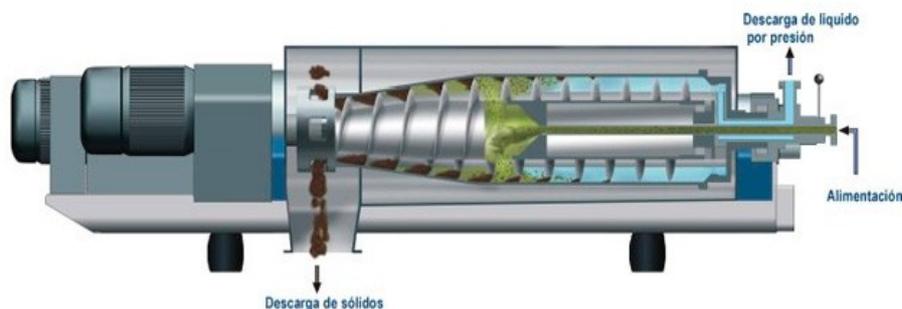


Figura. Centrifugadora horizontal  
(<https://www.flottweg.com>)

Debido a la fuerza centrífuga, las partículas de fango son lanzadas a la periferia del rotor, quedando la fase líquida en la zona interior de la centrifuga, tal y como se puede comprobar en la figura \*. La fase líquida que ha sido separada de la fase sólida, será bombeada hacia cabecera de planta.

## 5.4. Tratamiento térmico.

La producción de biogás mediante digestión anaerobia genera unos digestatos cuya riqueza en materia orgánica y elementos nutritivos debe ser aprovechada.

La forma más sencilla e inmediata de valorización de cualquier residuo orgánico es la aplicación directa del mismo al suelo agrícola, pero debe existir una



evaluación previa del valor fertilizante de estos materiales y sus efectos sobre las plantas y el suelo.

El aporte de los digestatos puede reducir costes en los cultivos, debido al ahorro en fertilizantes minerales, cuyo precio se ha elevado muy considerablemente en los últimos tiempos. Además, la menor producción de fertilizantes minerales de síntesis puede ayudar a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Pero también puede causar una serie de desventajas:

- Problemas ambientales debido por malos olores, moscas, etc.
- Producto pastoso.
- Limitaciones de ordenanzas.

En el caso de los lodos procedentes de una EDAR, existe una serie de factores limitantes que impide el uso directo para la agricultura:

- Riesgo biológico: potencial presencia d microorganismos patógenos, especialmente en el lodo fresco.
- Metales pesados: contenido variable según tipo de agua residual tratada y tratamiento de la EDAR. Toxicidad y acumulación en el sistema suelo-planta.
- Contenido de nutrientes: exceso de N y P, contaminación de aguas subterráneas.
- Salinidad: variable según tipo de agua tratada y tipo de tratamiento aplicado. Toxicidad para la planta y alteración de la estructura del suelo.
- Contaminantes orgánicos: potencial presencia de contaminantes orgánicos.

Por ello, se le somete a un tratamiento de **compostaje**, en el que reduciremos el volumen de residuo, consiguiendo también una mejor estabilización e higienización del lodo, es decir, eliminaremos todos los microorganismos patógenos que contenga los lodos. Todo ello conforme a lo que establece el RD 1310/1990 de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de EDAR en el sector agrario.



El compostaje es un proceso controlado de descomposición y estabilización biológico aeróbico de materiales orgánicos que implica 4 etapas:

- **Fase mesófila.** La temperatura está comprendida entre 10 y 40° C. Esta fase dura entre una y dos semanas. Se produce calor y CO<sub>2</sub>, caracterizándose, esta fase por una disminución del pH que desciende a valores de alrededor de 5,5.



- **Fase termófila.** La temperatura sube por acción fermentativa hasta alcanzar valores de 60-70°C. Se produce la pasteurización del medio, es decir, se eliminan los microorganismos patógenos y se inhibe la germinación de semillas de plantas adventicias. Se produce la liberación de amoníaco y el pH se eleva, pudiendo llegar a valores de 8. En esta fase hay una gran demanda de oxígeno.
- **Fase de enfriamiento.** Cuando se ha transformado casi en su totalidad la materia orgánica, la temperatura empieza a descender y nuevamente los microorganismos mesófilos actúan degradando la celulosa y lignina restante, lo cual dará lugar a sustancias húmicas. El pH se estabiliza y la demanda de oxígeno se reduce.
- **Fase de maduración.** Las tres fases anteriores duran unas semanas pero este periodo requiere de meses a temperatura ambiente. La temperatura disminuye hasta valores ambientales y el pH se estabiliza hasta próximo a la neutralidad.

Por tanto, el compostaje de lodos de EDAR presenta una serie de ventajas:

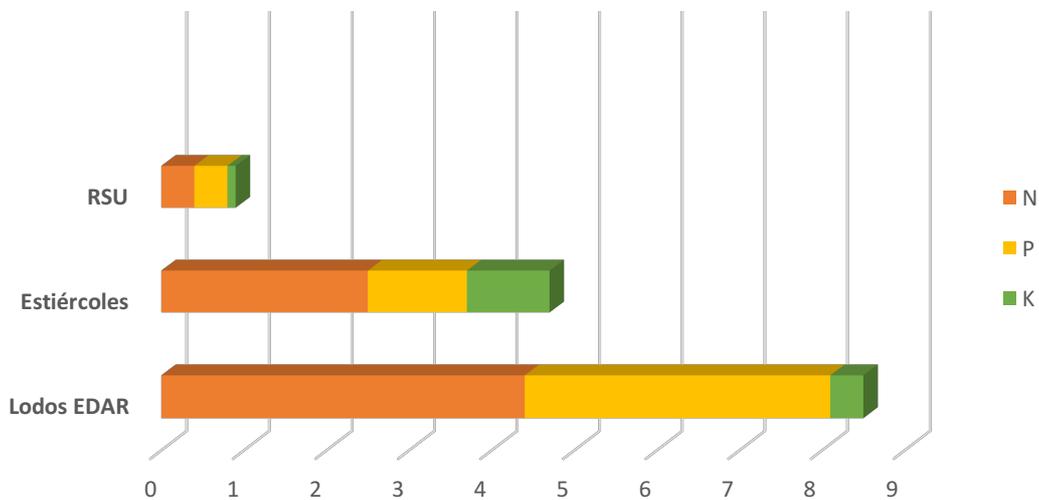
- Elimina patógenos y semillas de plantas adventicias.
- Estabilización a nivel biológico del material.
- Reducción del volumen de residuo y humedad.
- Fácil manejo, almacenamiento y transporte.
- Gran calidad como fertilizante y/o sustrato.
- Beneficioso para la fertilidad del suelo, ya que se trata de una materia orgánica estable.
- Reducción de uso de fertilizantes químicos que contaminan los suelos.

también requiere de un agente estructurante para que le aporte una estructura y porosidad al material. Con ello el compostaje es más rápido, no tiene malos olores y no hay plagas de insectos.

#### 5.4.1. Contenido de nutrientes para su uso agrícola

A nivel del poder de fertilización que posee los lodos para su uso agrícola, si se comparan con otras fuentes o residuos orgánicos que se pueden utilizar en agricultura, como los RSU (residuos sólidos urbanos) y estiércoles, podemos comparar dichas fuentes y comprobar en la siguiente gráfica, que los lodos procedentes de una EDAR poseen una mayor cantidad de macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio) con respecto las RSU y estiércoles, garantizándonos un aspecto positivo de la aplicación de los lodos para fines agrícolas.





*Gráfica. Contenido medio (%) de N, P y K en RSU, estiércoles y lodos. (MARM, 2010; Burton y Turner, 2003)*

## 6. LINEA DE BIOGAS

### 6.1. Introducción.

El biogás es una mezcla de metano, dióxido de carbono mayoritariamente, y otros compuestos que se genera por la degradación microbiana de materiales orgánicos de origen vegetal o animal en ausencia de aire, denominada digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es el medio más eficiente de general energía a partir de residuos con contenido de materia seca inferior al 30%, tales como estiércoles, lodos de EDAR, alimentos y otros desechos orgánicos húmedos. El metano producido a través de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos húmedos se utiliza como energía para calefacción, generación de electricidad o combustible para vehículos.



## 6.2. Características y composición.

Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

- **Metano (CH<sub>4</sub>):** 50-70%.
- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** 30-40%.
- Hidrógeno (H<sub>2</sub>), Nitrógeno (N<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), otros gases: <5%

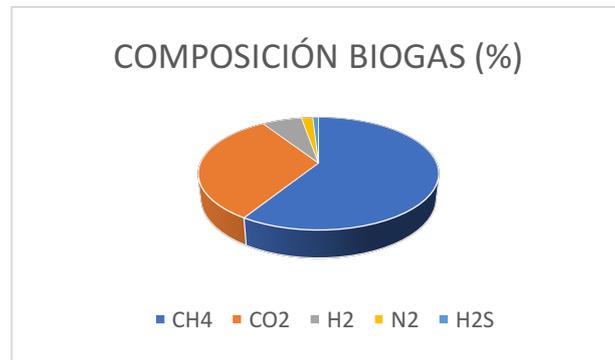


Gráfico. Composición biogás. (Elaboración propia).

## 6.3. Instalación de biogás.

Una instalación de biogás en una EDAR dedicada a la producción de energía cuenta con tres pasos fundamentales:

- **Producción del biogás:** Se realiza en un digester. Existe una amplia gama de estos equipos en dependencia del tipo de materia a tratar (líquido o sólido), temperatura, humedad, sistema de agitación y posición.
- **Limpieza, purificación y captación:** a lo largo de este proceso eliminaremos todas aquellas impurezas, trazas, espumas y componentes no necesarios o perjudiciales para su posterior uso.
- **Producción de energía:** aplicación del biogás almacenado tras el proceso de limpieza para su aplicación como energía renovable, ya sea eléctrica, térmica o gas natural.

### 6.3.1. Limpieza.

El biogás procedente del proceso de biodigestión de los fangos de la EDAR es un gas sucio que incorpora en él trazas de partículas sólidas, humedad y espumas. Para su uso y aprovechamiento, deberá de someterse a un proceso de limpieza y purificación ya que posteriormente podría causar problemas en la instalación.

Los objetivos fundamentales de la limpieza del biogás son:

- Óptimo funcionamiento de los equipos involucrados en la línea de biogás.
- Reducción de coste de mantenimiento.
- Vida útil prolongada de los equipos utilizados en la línea de biogás.





Los componentes a eliminar en el proceso de limpieza del biogás son:

- **Agua.** Eliminada del biogás antes de que sea vertido a la red de gas, debido a los estándares de calidad para el transporte del gas natural en tuberías, ya que requiere un contenido máximo de agua de 100 mg H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> de gas natural comprimido. Por otro lado, en caso de quererse utilizar como biocombustible en vehículos, se requiere un punto de rocío de aproximadamente 10°C por debajo de la temperatura promedio de invierno para la zona geográfica en la que se va a utilizar.

El biogás no tratado normalmente está saturado con agua, dependiendo su cantidad de la temperatura, ya que cuanto menor sea la temperatura, menor será el contenido de agua en el biogás.

Los métodos para eliminar el agua del biogás se basan en la separación física del agua condensada y en el secado químico.

- **CO<sub>2</sub>.** Será necesario eliminar la concentración de CO<sub>2</sub> para el enriquecimiento del biogás para su posterior inyección al gas natural. A medida que se elimina el CO<sub>2</sub>, disminuye la densidad relativa del biogás y se incrementa su valor calórico.

Dependiendo de las pretensiones de uso del biogás (ya sea cogeneración o biocombustible para vehículos), es necesario cumplir con ciertas especificaciones, ya que para cogeneración es necesario transportar el biogás por tuberías, y las especificaciones típicas de tuberías requieren un contenido menor del 3% de CO<sub>2</sub>, mientras que las especificaciones para ser usado en vehículos requiere un contenido combinado de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> del 1,5 - 4,5%.

- **H<sub>2</sub>S.** Es tóxico y corrosivo, así como ambientalmente peligroso, ya que se convierte en dióxido de azufre por combustión. Debido a los daños que puede causar el H<sub>2</sub>S en tuberías y motores, este se elimina en los primeros pasos de purificación del biogás. El contenido de H<sub>2</sub>S típico en biogás se encuentra entre el 0,1 – 0,5% v/v, aunque se han alcanzado valores tan bajos como 0,0002% y tan altos como 2%. Por ello, se han desarrollado y continúan desarrollándose tecnologías más rentables, esencialmente basadas en procesos biológicos.
- **Otras impurezas** (siloxanos, NH<sub>3</sub>, hidrocarburos halogenados).

Existe para ello varios métodos de limpieza del biogás:

- Específicos: son los que se destinan a eliminar un solo tipo de componente en particular de la mezcla de gases. Para ello se utilizan las técnicas siguientes:
  - Reducción de H<sub>2</sub>S: biofiltro, lavadores químicos, filtro de carbón activo, etc.



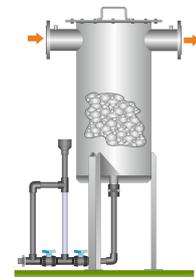
- Reducción de CO<sub>2</sub>: absorción, tecnología de membranas, separación criogénica, etc.
  - Reducción de humedad: enfriamiento y condensación.
- Generales: son aquellos que pueden eliminar más de un componente a la vez de la mezcla de gases. Por ejemplo, el tratamiento a carbón activo, que puede eliminar siloxanos, hidrocarburos, sulfuros, etc.
  - Combinados: son aquellos en que se combinan diferentes técnicas, tanto para la eliminación de varios componentes, como para el acondicionamiento del gas. Este método es uno de los más aplicados y que mejores resultados se obtienen.

## 7. VALORIZACION

### 7.1. Cogeneración.

El biogás procedente del proceso de biodigestión de los fangos de la EDAR es un gas sucio que incorpora en él trazas de partículas sólidas, humedad y espumas. Para evitar que estos tipos de materiales lleguen al gasómetro (receptor del biogás) y a las maquinas involucradas en su transporte y aprovechamiento se requiere instalar en la línea los equipos que a continuación se detallan de forma general.

- **Filtro de grava.** Es utilizado en el caso del biogás para la separación de partículas sólidas, posibles espumas, suciedad y condensado procedente del digester. Su principio de operación es sencillo y consiste en hacer pasar el biogás por un lecho de arena de tamaño determinado que sirve como separador de todas las impurezas contenidas en el biogás en la forma antes mencionadas. El condensado se extrae por la parte inferior del equipo, la espuma y partículas quedan retenidas en el lecho de grava mientras el gas sale por la parte superior lateral del filtro.

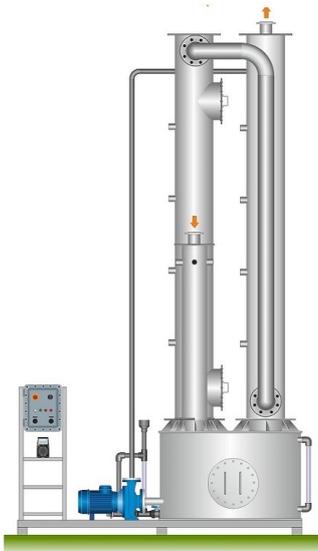


*Filtro de grava.*  
(<https://www.progecosrl.com>)

- **Filtro cerámico.** Se utiliza para la eliminación de partículas sólidas finas (partículas comprendidas entre 150–210 μm) presentes en el biogás que procede de los procesos de digestión anaeróbica y la condensación del exceso de humedad. Su parte fundamental lo constituyen los cartuchos cerámicos o velas de un tamaño de poros predeterminado. Estos cartuchos se encuentran situados en el interior de un cilindro hermético con contrachapa de supportación para los mismos.



- **Reducción/eliminación de H<sub>2</sub>S.** El H<sub>2</sub>S es corrosivo y tóxico, además de ambientalmente peligroso, ya que por combustión se convierte en dióxido de azufre. El biogás producido en las estaciones de depuración de aguas residuales EDAR se caracteriza por una elevada concentración de H<sub>2</sub>S dada la carga orgánica de los lodos. Esta concentración está comprendida en el rango de valores de 1000 a 4000 ppm de forma general. Por ello, para un aprovechamiento del biogás se requiere la disminución de la concentración del H<sub>2</sub>S por debajo de las 250 ppm para el caso de generación de electricidad vía motores. Las turbinas son más permisibles en este sentido



En *RENODAR* reducimos la concentración de H<sub>2</sub>S mediante un tratamiento biológico de **biofiltro percolador**, que es un biorreactor empacado con un soporte sintético en el cual se desarrolla una biopelícula. A través del lecho se alimenta la corriente gaseosa con el contaminante a eliminar y, por su parte superior, se añade una corriente líquida, que es recirculada para aportar los nutrientes esenciales a la biopelícula, mantener las condiciones de humedad, pH, además de eliminar los productos de degradación. A medida que el gas atraviesa el lecho poroso, el H<sub>2</sub>S es degradada por la biomasa activa que los utiliza como fuente de nutrientes y/energía.

Figura. Biofiltro percolador de biogás.  
(<https://www.progecosrl.com>)

Los biofiltros percoladores son considerados como tecnologías limpias, presentando numerosas ventajas:

- como su capacidad para degradar los contaminantes a otros productos inocuos o menos contaminantes a una temperatura y presión ambientales.
- Bajos costes de operación, teniéndose en cuenta el elevado volumen de gases que se pueden tratar con bajas concentraciones de los compuestos contaminantes.
- Buen control de la temperatura, pH y concentración de nutrientes.
- Fácil retirada de los productos derivados de la degradación mediante purgas del medio de recirculación en el sistema.



- **Deshumidificador.** Reduce la temperatura del biogás hasta aproximadamente 5-7°C, condensando más del 90% del volumen de agua. Funciona a través de un sistema de enfriamiento que suministra un refrigerante que se transfiere a los intercambiadores de calor. El biogás fluye por el lado del producto del intercambiador, mientras que el refrigerante fluye por el lado del servicio.

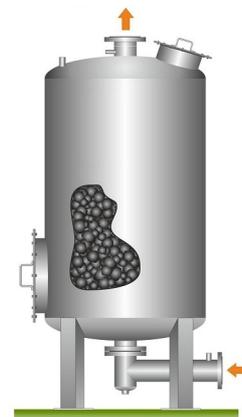
Más de la mitad del aporte de la transferencia térmica se utiliza para condensar el agua contenida en el biogás, mientras que el resto se usa para reducir la temperatura del gas. A medida que este se enfría, el agua se separa del gas, dejando un biogás limpio, ideal para su uso en motores de cogeneración.

Existe también la opción con recuperación de calor, mediante la cual el biogás frío resultante se usa para pre enfriar el biogás entrante. Esto reduce la carga en el intercambiador de calor de refrigeración final, recuperando hasta un 20% de la energía necesaria para el proceso. El ahorro de energía que se obtiene permite amortizar rápidamente la inversión inicial.

- **Reducción/Eliminación de Siloxanos.** Eliminaremos gran parte de la concentración de siloxanos del biogás ya que resulta ser abrasivo sobre las máquinas empleadas, reduciendo la vida útil de las mismas. De esta manera se evita uno de los principales problemas que suelen causar los siloxanos: el daño a motores, ya que, durante la combustión, estos se oxidan a  $\text{SiO}_2$  y, por consiguiente pueden depositarse como cuarzo microcristalino en la cámara de combustión, bujías, válvulas, etc., por esta razón, los fabricantes de motores exigen límites máximos de siloxanos en el biogás, que pueden ir entre 0,03-28  $\text{mg/m}^3$ .

Por ello será eliminado mediante un tratamiento de **adsorción de gel de sílice**, ya que resulta ser un buen adsorbente, obteniéndose una alta eficiencia de eliminación (<95%), y puede ser regenerado a una temperatura de 250°C durante aproximadamente 20 minutos de cerca de un 95%.

Los lechos rellenos con sílice pueden ser operados a presiones elevadas y, de esta manera, lograr simultáneamente un eficiente secado del biogás y una eliminación cuantitativa de siloxanos.



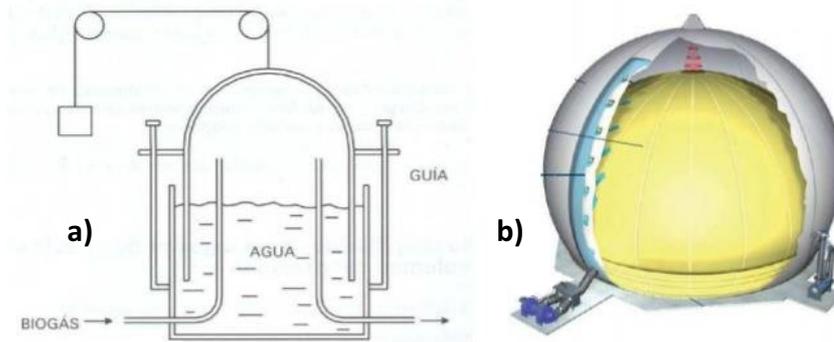
*Figura. Filtro de gel de sílice.  
(<https://www.progecosrl.com>)*



*Figura. Granos de gel de sílice.  
(<https://es.123rf.com>)*



- **Gasómetro.** Los gasómetros son dispositivos de almacenamiento de gases, muy ampliamente usados en la actualidad en el almacenamiento de biogás procedentes de la digestión anaerobia de planta de tratamiento de aguas. Estos pueden ser de diferentes tipos de acuerdo a la presión de trabajo y construcción. Los gasómetros de campana flotante y de doble membrana son los más utilizados para el almacenamiento y distribución del biogás a los diferentes consumidores.



Figuras. Gasómetro de campana flotante (a); de doble membrana (b).  
(<https://www.researchgate.net>)

- **Antorcha de llama oculta.** La combustión tiene lugar dentro de una cámara cilíndrica cubierta internamente con una capa especial de fibra cerámica que, además de garantizar una alta eficiencia, hace que la llama y el ruido sean menos audibles. Las soluciones constructivas adoptadas para la configuración del quemador, de la cámara de combustión y de los dispositivos auxiliares lo hacen adecuados para su uso en instalaciones donde el aspecto de rendimiento es particularmente importante. La antorcha lo tendremos a modo de emergencia, si tuviésemos biogás en exceso.

Con el biogás ya limpio de impurezas y componentes no beneficiosos, lo hacemos pasar por un **motor generador de combustión interna**, convirtiendo la energía química primaria en energía mecánica. Acoplándole un alternador, esa energía mecánica se transforma en energía eléctrica, que posteriormente nos autobasteceremos de ella.

Para mejorar el rendimiento del motor, en *RENODAR* recurrimos a la compresión mecánica del biogás antes de su entrada al motor. También refrigeramos la mezcla antes de su entrada al motor. De esta forma:

- la energía producida en cada explosión es mayor.
- Aumenta su densidad.
- Aumenta la cantidad de combustible y comburente en el motor.

Los gases de escape de la cogeneración, ricos en CO<sub>2</sub>, son primero enfriados antes de ser evacuados por la chimenea, y transmiten su energía a un circuito



de agua caliente, aprovechándose posteriormente como energía térmica para, por ejemplo, controlar temperatura del biodigestor.

En este caso, el agua se hace circular por el circuito con la ayuda de una bomba, se calienta a su paso por el bloque motor y el calor absorbido lo cede en el intercambiador, que no es más que un serpentín por donde circula el agua y un gran ventilador que fuerza al aire a pasar a través del serpentín, calentándose.

Con todo ello, *RENODAR* posee un rendimiento energético de aproximadamente un **70%**.

## **7.2. Producción de biometano para inyección en red de gas natural.**

La calidad del biogás obtenido es tanto mejor cuanto mayor sea el porcentaje de metano en la mezcla, ya que un alto componente de metano permite unos usos similares a los del gas natural (contenido de metano en torno al 92%).

El enriquecimiento de biogás, hasta llegar a calidad semejante a la del gas natural, es un procedimiento de múltiples pasos, de los cuales la mayoría se han citado en el apartado anterior. Después de la eliminación de agua y sulfuros, la eliminación del  $\text{CO}_2$  es necesaria para cumplir con los índices exigidos. A medida que se elimina el  $\text{CO}_2$ , disminuye la densidad relativa del biogás y se incrementa su valor calórico.

Así para eliminar el  $\text{CO}_2$ , en *RENODAR* empleamos una tecnología de separación con membranas. Los resultados obtenidos en el campo de la investigación justifican que es uno de los mejores métodos que se han desarrollado para la limpieza del biogás, hasta tal punto que, actualmente, es una tecnología competitiva que puede compararse con tecnologías como la adsorción con oscilación de presión, la absorción química y la separación criogénica.



Dicha técnica está basada en que algunos de los componentes del biogás son transportados a través de una membrana delgada, mientras que otros son retenidos. La permeabilidad es una función directa de la solubilidad química del compuesto de interés en la membrana; tal es el caso de las membranas de acetato de celulosa, donde la permeabilidad del  $\text{CO}_2$  es veinte veces mayor que la del metano. El transporte a través de la membrana se produce debido a una fuerza motriz adecuada que puede estar propiciada, entre otros, por el potencial químico. Los sistemas con membranas se suelen construir en módulos.



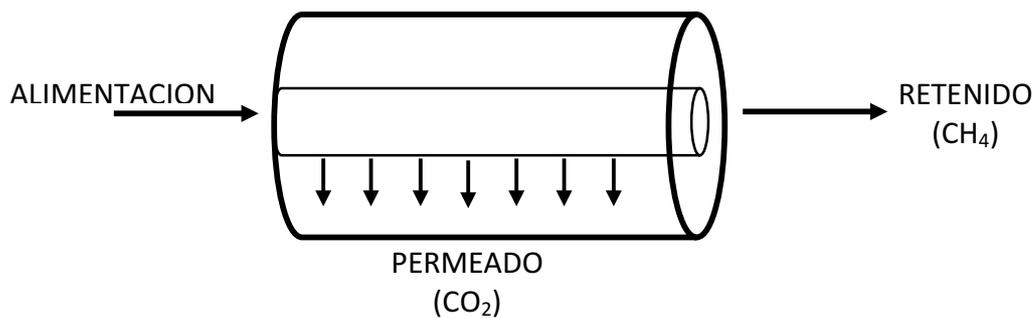


Figura. Separación de CO<sub>2</sub> por membrana. (Elaboración propia).

Con esta técnica, conseguimos un biogás de 96% de CH<sub>4</sub> y 1-3% de CO<sub>2</sub>, ideal para la posterior inyección hacia la red de gas natural para su aprovechamiento.

## 7.3. APROVECHAMIENTO DEL CO<sub>2</sub>

### 7.3.1. Extracción de carotenoides de algas.

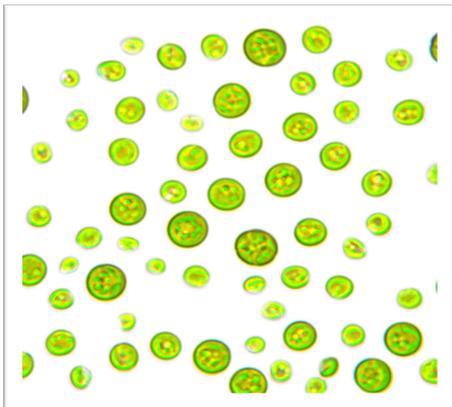


Figura. Colonia de *Chlorella Vulgaris*.  
(<https://www.algomed.de/es/chlorella-2>)

Las microalgas, que son organismos fotosintéticos microscópicos unicelulares, se cultivan en medios líquidos que contienen fuentes de nitrógeno y fósforo (en nuestro caso, nitratos y fosfatos de aguas residuales) y utilizan fuentes de carbono inorgánico como carbonatos y CO<sub>2</sub> para realizar la fotosíntesis. Por lo general, el aire comprimido se burbujea en el medio líquido para promover la agitación de los medios de cultivo (y evitar la sedimentación de las células de microalgas). Si enriquecemos esta corriente de aire burbujeante con CO<sub>2</sub>, podemos mejorar la eficiencia fotosintética de las microalgas, para que el exceso de CO<sub>2</sub> se pueda capturar y convertir en biomasa de microalgas.

Sin embargo, no puede agregar demasiado CO<sub>2</sub>, porque hay un límite para la tasa de fijación fotosintética del CO<sub>2</sub>.

En esta valorización, se pondrá en uso el dióxido de carbono proveniente del biogás para potenciar el crecimiento de microalgas, de las cuales se extraerán carotenoides.

Los carotenoides son pigmentos presentes en todos los organismos fotosintéticos, con colores que van del rojo al amarillo. En las microalgas, los carotenoides pueden encontrarse en las membranas tilacoidales de los cloroplastos o en el interior de cuerpos lipídicos. Estos pigmentos actúan como accesorios que capturan la energía de la luz entre 400 y 500 nm, la cual no es



absorbida correctamente por la clorofila. También desarrollan una función de fotoprotección previniendo la fotooxidación. Estructuralmente, ayudan a mantener la integridad tridimensional de los complejos fotosintéticos dentro de las membranas tilacoidales.

De los muchos carotenoides que se conocen, solo unos pocos se usan industrialmente, como  **$\beta$ -caroteno**, **licopeno**, **astaxantina**, **cantaxantina**, **luteína**, **criptoxantina** o **zeoxantina**. Las aplicaciones de estos carotenoides son variadas:

- Colorantes en la industria alimentaria.
- Aditivos en piensos para aumentar la pigmentación en las granjas avícolas.
- Para aumentar la fertilidad del ganado.
- En la industria de la piscicultura para incrementar la coloración de los salmónidos y crustáceos.
- Usos en la industria cosmética. Fines terapéuticos, ya que posee un gran poder antioxidante.

El CO<sub>2</sub> obtenido del biogás, se burbujea a través de unas tuberías a un estanque de cultivo circular cerrado de *Chlorella Vulgaris*, cuya capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> oscila entre los 0,650 - 0,953 g CO<sub>2</sub> /litro de cultivo y día.

Las tecnologías basadas en microalgas cuentan con la ayuda de tiempos muy cortos de generación celular, de un día o menos, y la relativa simplicidad y facilidad de escalado de los sistemas hidráulicos de cultivo, permitiendo el desarrollo de procesos de producción más rápidos y a menor escala que los necesarios para plantas superiores.

En *RENODAR*, el digestor anaeróbico produce 118,1 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> /día, teniendo éste una densidad a condiciones normales de temperatura (25°C; 1 atm) de 1,842 kg/m<sup>3</sup>. Esto implica que se producen 217,5 kg de CO<sub>2</sub> /día. Usando la absorción media de 0,84 g fijados de CO<sub>2</sub> por litro y día, obtenemos que necesitamos 259 m<sup>3</sup> de cultivo de *Chlorella Vulgaris*.

La *Chlorella Vulgaris* contiene 25 mg  $\beta$ -caroteno /litro de cultivo. Por tanto, en un cultivo de 259 m<sup>3</sup> (teniendo en cuenta los 5 días de crecimiento de la microalga) se consigue un total de **6,475 kg  $\beta$ -caroteno** por lote.



Figura. Astaxantina.  
(<https://astaxantina.es>)

Esta microalga también posee **astaxantina**, que es un carotenoide que, además de ser un colorante, tiene un gran poder antioxidante, siendo actualmente el carotenoide con mayor capacidad antioxidante que existe. Además de proteger frente a la radiación solar en la piel, previene enfermedades cardiovasculares, enfermedades del sistema inmunológico y la degeneración macular.

La Cantidad de astaxantina que posee estas microalgas es del 1-2% por kilogramo de biomasa.



Los cultivos se tienen que dejar crecer durante 5 días para que alcancen el tamaño ideal para extraer la mayor cantidad de  $\beta$ -caroteno y astaxantina posibles.

En RENODAR, recogemos la biomasa mediante un rastrillado, dejando parte del agua en el estanque, sometiéndole a un tratamiento de secado para reducir su humedad. Posteriormente se trituran en un molino de bolas para facilitar la difusión del solvente (acetona) en la extracción de estos carotenoides, que será separado del extracto por una evaporación que se recircula al equipo.

### 7.3.2. Extracción de biopolímeros.

La progresiva acumulación de desechos sólidos es un problema global que comenzó a advertirse en el pasado siglo. Uno de los materiales de desecho más persistentes son los plásticos, que pueden permanecer en la superficie terrestre, prácticamente inalterables, durante muchos años. La actual preocupación por los problemas ambientales, y en particular los causados por la acumulación de plásticos procedentes del petróleo, ha contribuido al desarrollo de alternativas para su reducción, como es la sustitución de éstos por polímeros biodegradables.

Los polímeros biodegradables pueden clasificarse de acuerdo con su origen en:

- Polímeros sintéticos
- Polímeros naturales
- Polímeros microbiológicos



Los polímeros de origen sintéticos son obtenidos por reacciones de polimerización de monómeros procedentes de derivados del petróleo o de fuentes naturales renovables. Ofrecen ciertas ventajas sobre los polímeros naturales al poseer una mayor versatilidad en sus propiedades físicas, así como en la velocidad de degradación. Son susceptibles al ataque enzimático o microbiano, pero sus propiedades, en general, no se ajustan a las propiedades que presentan los materiales de plásticos convencionales, por lo que, no suelen ser comercialmente viables como sustitutos de los plásticos derivados del petróleo. Por otro lado, los polímeros de origen natural y los polímeros de origen microbiológico son muy interesantes debido, entre otras características, a su excelente biocompatibilidad, aunque también pueden presentar propiedades indeseables como, por ejemplo, la antigenicidad y variación en los lotes.

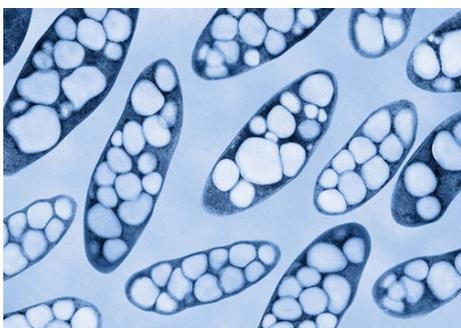
En *RENODAR*, estamos particularmente interesados en la extracción de los **polihidroxicanoatos (PHA)** que son un tipo de polímero que está clasificado dentro de los llamados biopolímeros. Un biopolímero es un polímero obtenido a partir de materiales renovables de origen biológico, siendo polimerizado bien por



métodos químicos o biológicos. Los biopolímeros los podemos dividir en tres grandes grupos:

- Polímeros bio-quimiosintéticos
- Polímeros biosintéticos
- Polímeros naturales modificados

Los **PHAs** son polímeros biosintéticos, que son producidos completamente por procesos biológicos, ya que, todo el proceso de biosíntesis, tanto la producción de monómeros como la polimerización, se produce en las células microbianas. Además, se suma a su interés el que sean los únicos polímeros 100% biodegradables, pudiéndose ser biodegradados por una amplia variedad de microorganismos ubicuos en muchos ecosistemas, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, sin formar productos tóxicos.



*Los microorganismos utilizan PHA (gránulos blancos) como moléculas de almacenamiento interno que pueden extraerse.*

Por tanto, los PHAs se presentan como una buena alternativa a los plásticos derivados del petróleo debido a que, pueden ser obtenidos a partir de materias primas renovables, y posteriormente, ser degradados por completo tanto por los propios organismos que los producen, como por otras bacterias, algas y hongos. Además, los PHAs son polímeros termoplásticos que tienen propiedades similares a los plásticos clásicos derivados del petróleo, de manera que pueden ser utilizados en su lugar.

Para la extracción de estos biopolímeros, en RENODAR centrifugamos el caldo del cultivo y filtramos la biomasa precipitada. Extraemos el PHA mediante disolvente de carbonato de etileno o de propileno. Posteriormente, el PHA se precipita normalmente en metanol o etanol y se recupera el polímero por evaporación del disolvente.

Una aplicación de los PHAs es su uso como **sustrato sólido para la desnitrificación del agua y de las aguas residuales**. Debido a su capacidad de absorción de aceite, el PHB ha sido probado con éxito para la eliminación de los contaminantes orgánicos liposolubles en el tratamiento de aguas residuales.

También es posible utilizar los PHAs en el sector farmacológico, ya que se consideran compuestos farmacológicamente activos, siendo investigado actualmente como posibles fármacos anti-VIH, fármacos contra el cáncer, antibióticos, entre otros.



## 7.4. Aprovechamiento del H<sub>2</sub>S: *Chlorobium Limicola*.

Es un género de bacterias del grupo *Chlorobi*, las bacterias verdes del azufre. Estas bacterias son bacilos inmóviles rectos o curvados, cuyo metabolismo consiste en ser oxidantes fotolitótrofos del azufre. se encuentran comúnmente en ambientes acuáticos iluminados, estratificados y anóxicos, sedimentos y otros ambientes ricos en sulfuro, incluidas las aguas termales. Como donante de electrones utilizan sulfuro de hidrógeno como fuente de carbono, dióxido de carbono. No presentan vesículas de gas.

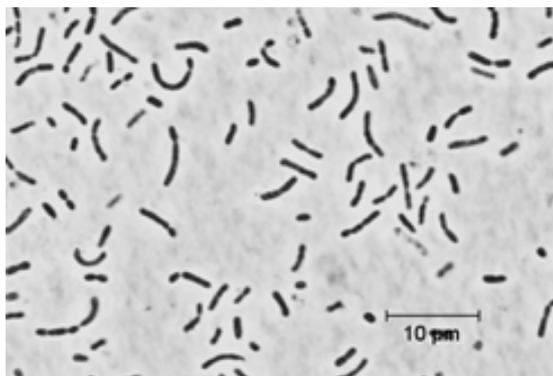


Figura. *Chlorobium Limicola*.  
(<https://genome.jgi.doe.gov/portal/chlli/chlli.home.html>)

En la década de 1920, **C.B. van Niel** al estudiar la fotosíntesis en las bacterias fotosintéticas del azufre propuso que el O<sub>2</sub>, que se liberaba en la fotosíntesis de las plantas, provenía del H<sub>2</sub>O y no del CO<sub>2</sub>. Esta hipótesis supone que el hidrógeno utilizado para la formación de la glucosa proviene de la descomposición del agua absorbida por la planta. El oxígeno sobrante de la reacción es expulsado al exterior.

Reacción fotosintética de las Bacterias del azufre:



Figura. Jabón de azufre.

Con ello, oxidamos el sulfuro obtenido como subproducto del biogás para obtener azufre elemental (polvo de color amarillento), que posteriormente se aprovechará junto con otro subproducto obtenido de la valorización de los carotenoides (glicerina), además de aceites esenciales, colorantes, etc; para poder producir **jabón de azufre**, muy popular dentro del ámbito de la dermatología, gracias a sus propiedades desinfectantes, astringentes y antiinflamatorias, que lo han convertido en un producto esencial en el cuidado de la piel y los tratamientos contra el acné, la dermatitis o la psoriasis. Además de paliar los efectos de las altas temperaturas y los agentes químicos a los que están expuestos.



## 7.5. Aprovechamiento de los siloxanos.

Entre los componentes de mayor incidencia en el aprovechamiento energético del biogás generado en *RENODAR*, están los siloxanos, los cuales producen daños en las máquinas empleadas, reduciendo la vida útil de las mismas por el efecto abrasivo que producen en las partes internas de éstos, así como, aumenta el coste de operación por los reiterados cambios de aceites y partes internas de las mismas.

Los **siloxanos** son una familia de compuestos orgánicos formados por cadenas lineales o cíclicas de silicio, oxígeno y grupos metilo. Son fabricados de diversas formas, entre los que se incluyen fluidos de alta y baja viscosidad, gomas, elastómeros y resinas, además de encontrarse en cantidades significativas en una amplia y variada gama de productos domésticos, como detergentes, champús, desodorantes, pastas dentífricas, etc.

La mayoría de ellos se volatilizan rápidamente a la atmósfera, y con el tiempo se degradan en CO<sub>2</sub>, sílice y agua. Pero algunos acaban en las aguas residuales y en los sólidos.



Su solubilidad en agua decrece con el aumento de su peso molecular y éstos pueden ser volátiles o no.

Se han observado concentraciones de siloxanos en biogás procedentes de residuos en torno a los 400 mg/m<sup>3</sup>. En *RENODAR*, eliminamos un aproximadamente un **95%** de siloxanos del biogás (**112,5 g/día**).

Los siloxanos posee una alta aplicación en el sector de la **cosmética**, para hacer de los cosméticos más cremosos y agradables al tacto.



## BIBLIOGRAFÍA

- Luis Arellano, Antonio David Dorado, David Gabriel, Hugo Sierra (2017): ***Purification and use of biogás***. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Miguel G. Guerrero, Herminia Rodríguez, M. Ángeles Vargas, Mercedes García-González, José Antonio del Campo, José Moreno y Joaquín Rivas: ***Las microalgas como productoras de pigmentos con interés comercial***. Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, Universidad de Sevilla-CSIC.
- Ramírez, M., Fernández, M., Almengló, F., Gómez, J.M y Cantero, D. (2011): ***Biofiltros percoladores. Una tecnología emergente para el tratamiento de olores y desulfuración de biogás***. Dpto. Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad de Cádiz.
- [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema\\_11.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_11.htm)
- Mariano García Garibay, Rodolfo Quintero Ramírez, Agustín López-Munguía: ***Biotecnología alimentaria***.
- Hoover y cols. 2010
- Lorena Martínez García: ***Eliminación de CO<sub>2</sub> con microalgas autóctonas***. Tesis.
- Estíbaliz Aranzabe, José Ignacio Ciria: ***Siloxanos en motores de gas***.
- Grupo TAR: ***Apuntes de Tratamiento de Aguas Residuales***.

