



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

Autor: Mar Oliva Pastor
Director: Carlos Morales Polo

Madrid
Octubre 2018

Mar
Oliva
Pastor

**INTEGRACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESTACIÓN DEPURADORA DE
AGUAS RESIDUALES**



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor **D. Mar Oliva Pastor**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **INCORPORACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES A ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 10 de Octubre de 2018

ACEPTA



Fdo Mar Oliva Pastor

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017/2018 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni
parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Mar Oliva Pastor

Fecha: 10/10/18

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: 10/10/18

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: Fernando de Cuadra García

Fecha: 10/10/18



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

ITINERARIO ELÉCTRICO

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

Autor: Mar Oliva Pastor

Director: Carlos Morales Polo

MADRID

Octubre 2018

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

Autor: Mar Oliva Pastor

Director: Carlos Morales Polo

Entidad Colaborativa: Consordi Costa Brava

RESUMEN DEL PROYECTO

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto consiste en la incorporación de energías renovables al sistema eléctrico español, potenciando así el desarrollo sostenible. La construcción de la EDAR (Estación de Aguas Residuales) tendrá lugar en Costa Brava. Este proyecto se centrará en, a partir de las reacciones realizadas para la formación de biogás, estudiar el balance de potencia eléctrica, el cual se conseguirá con este tipo de energía renovable.

A partir de la producción de biogás se pueden conseguir varias posibilidades energéticas, pero en el proyecto, nos centraremos en conseguir generación eléctrica. Su resultado será la obtención de energía eléctrica anual frente a la primaria obtenida, y sus consecuencias económicas. Actualmente, en España se ha incrementado el uso de todas las energías renovables, principalmente eólica y solar. Ahora estamos dispuestos a incorporar el biogás como fuente de energía, el cual supone una ventaja, ya que no dependemos del terreno, podemos proceder a instalar la EDAR en cualquier sitio de España. Sustituyendo los combustibles fósiles por energías renovables, estamos reduciendo emisiones nocivas en la atmósfera como CO₂, lluvia ácida (SO₂ y NO_x), consideradas una gran amenaza para el medio ambiente.

2. METODOLOGÍA

En general, para conseguir el dimensionamiento de la EDAR, se debe conseguir información de los datos meteorológicos de Costa Brava. Sin embargo, para la producción de biogás, esto no es necesario, por lo que se tiene ventaja en este aspecto.

En el dimensionamiento de la planta para un sistema de energía renovable se debe realizar con antelación el estudio de las necesidades energéticas de la depuradora, para poder cubrir así la demanda de los consumidores. Sin embargo, la EDAR está conectada a la red eléctrica, por lo que no es necesario satisfacer toda la demanda energética.

Se implementarán los tratamientos de depuración necesarios, obteniendo la calidad de agua demandada. Se diseña para una población de 175.000 habitantes, por lo que la mayoría de las aguas residuales que se utilizan son urbanas, descartando las aguas industriales (con más contaminación). Con esto, se procede a mejorar el proceso de depuración posterior.

Al principio, nos centraremos en el funcionamiento general de una EDAR:

Pre-tratamiento

Tratamientos físicos, que separan la contaminación que está flotando o en suspensión en las aguas. Con este proceso evitamos que dichas partículas dañen los equipos posteriores. Se distinguen entre:

-Desbaste -Desarenado -Desengrasado

Decantación primaria

Esta parte, para la producción de biogás, conviene que el decantador usado sea grande. Aquí se separará la mayor parte de los sólidos sedimentales.

Tratamiento biológico

Llevamos el agua a reactores biológicos, donde la materia orgánica será degradada por el fango biológicos

Decantación secundaria

En este caso, separaremos el fango biológico del agua depurada, pasando estos primeros a la línea de fangos. En la línea de fangos, serán tratados y acondicionados.

Tratamiento terciario

Destinado a mejorar las características del agua. El proceso consiste en eliminar los microorganismos y adecuar el agua para su uso.

Debemos añadir también la planta donde se van a separar los lodos para su metanización.

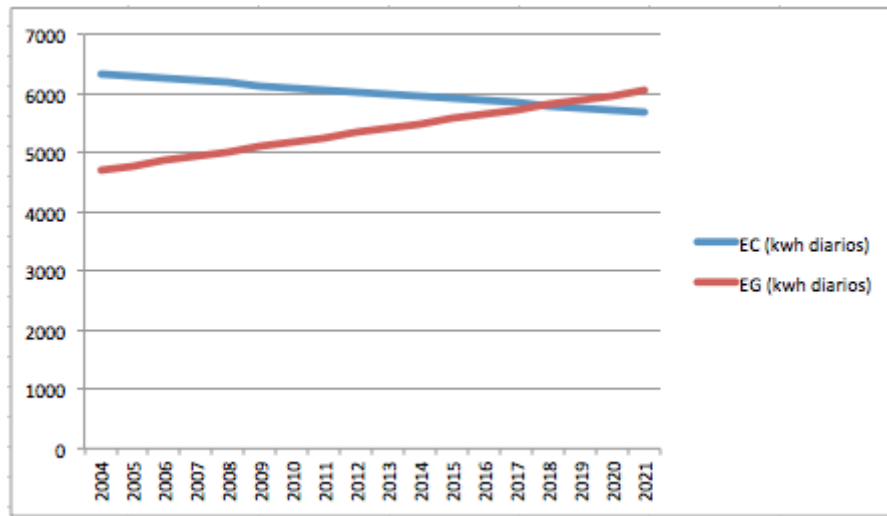
Necesitamos obtener una buena concentración de metano para que el proceso de generación eléctrica resulte rentable. Se necesitará una comprobación de la concentración de la salida del efluente, no debe exceder por encima de los niveles mínimos exigidos de pureza en la UE según la DIR 91/271/CEE.

3. RESULTADOS

Nuestro objetivo es conseguir un balance de potencia positivo, para que la EDAR consiga un buen rendimiento.

Año futuro	Generación eléctrica (Kwh diarios)	Consumo de potencia eléctrica (Kwh diarios)
2019	5885,43	5757,42
2020	5964,67	6098,14
2021	6043,88	5681,7

Mirando la tabla anterior se comprueba, que la EDAR es capaz de abastecerse por sí sola en los tres años, por lo que de estos años se sacará el estudio económico. La siguiente gráfica muestra las potencias generadas (EG) y consumidas (EC) en cada año (de 2004 a 2021) por la EDAR.



A partir de los resultados obtenidos y con la información de la tarifa plana de €/kwh en España, se consigue estimar el beneficio neto que se obtendría en cada año futuro.

AÑO	Beneficio tarifa plana día (€)	Beneficio tarifa plana noche (€)
2019	2.726	897,93
2020	5.219,67	1.719,34
2021	7.712,7	2.540,54

4. CONCLUSIONES

Con los datos de la EDAR y los resultados de potencia calorífica obtenidos, se puede concluir, que la EDAR puede transformar su digestión aerobia en anaerobia, proporcionando así la posibilidad de producir biogás, que dará lugar posteriormente a la generación de energía eléctrica. Se ha comprobado que la EDAR cumple con las siguientes condiciones que exige una digestión anaerobia:

- Gran cantidad de fangos
- Decantador primario grande
- Gran cantidad de DBO
- Gran cantidad de nitrógeno
- Fangos activos

Acuerdos internacionales existentes como los acuerdos de París o el protocolo de Kioto, nos llevan a pensar en la capacidad que tenemos de reducir la contaminación en todo el mundo, impulsando a su vez nuevas tecnologías, fomentando el desarrollo sostenible. Sabemos por ello, que a principios de este siglo hubo la eclosión de las energías renovables en Europa, prevaleciendo energías fotovoltaica y eólica, y en menor medida, la biomasa y el biogás.

Algunos países como Alemania lideraron la política de incentivos, pero estos últimos han ido variando según la crisis económica y déficit públicos.

Realmente, estamos satisfechos de realizar el proyecto para la obtención de biogás, ya que se trata de la energía más limpia existente, ya que evita en todo momento la emisión de dióxido de carbono y gas metano, controlando esto mediante un proceso aerobio. Sin embargo, en España, se discrimina el biogás frente a la eólica y fotovoltaica. Existen dificultades a la hora de desarrollar cultivos energéticos rentablemente por la escasa pluviosidad del país, por lo que solo tenemos 30 plantas de digestión anaeróbica, frente a las 8.000 de Alemania.

El objetivo principal, debido al estado en el que nos encontramos en España, será aumentar la rentabilidad del proyecto de biogás, siguiendo los siguientes caminos:

1. Reducir el coste de inversión, que en nuestro caso se basará en aumentar la eficiencia de producción de la planta.
2. Reducir el coste de operación.
3. Dar valor añadido al producto, en este caso al biometano.

5. REFERENCIAS

La principal información a la que nos vamos a sostener es la propia EDAR, ya que al tener que producir biogás, necesitaremos unos requisitos de esta misma.

Adjuntaremos las páginas primordiales sobre las que hemos basado nuestro proyecto:

http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/DocuWeb/depuradores/dcpa_edar_castell_platjadaró.pdf

<http://www.ccbgi.org/abastaments.php>

<http://www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480399.html>

Juana, R. I. (2005). Proyectos de plantas de tratamientos de aguas. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración. BELLISCO EDICIONES.

MONGE, E. G. (2016). Integración de diferentes energías renovables en una estación depuradora de aguas residuales. Madrid: UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS.

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES IN WASTEWATER TREATMENT STATION

ABSTRACT

1. INTRODUCTION

The next project consists of the incorporation of renewable energies into the Spanish electricity system, thus promoting sustainable development. The construction of the WWTP (Wastewater Station) will take place in Costa Brava. This project will focus on, from the reactions made to the formation of biogas, study the balance of electrical power, which will be achieved with this type of renewable energy. Several energy possibilities can be obtained from the production of biogas, but in the project, we will focus on obtaining electricity generation. Its result will be the obtaining of annual electric power in front of the primary obtained, and its economic consequences. Currently, the use of all renewable energies, mainly wind and solar, has increased in Spain. Now we are willing to incorporate biogas as a source of energy, which is an advantage, since we do not depend on the land, we can proceed to install the WWTP anywhere in Spain. By replacing fossil fuels with renewable energies, we are reducing harmful emissions in the atmosphere such as CO₂, acid rain (SO₂ and NO_x), considered a great threat to the environment.

2. METHODOLOGY

In general, to obtain the dimensioning of the WWTP, information must be obtained from the weather data of the Costa Brava. However, for the production of biogas, this is not necessary, so it has an advantage in this aspect. In the sizing of the plant for a renewable energy system, the study of the energy needs of the treatment plant must be carried out in advance in order to meet the demand of the users. However, the network is connected to the electricity grid, so it is not necessary to satisfy all the energy demand. The necessary purification treatments will be implemented, obtaining the water quality demanded. It was designed for a population of 175,000 inhabitants, for which in the past the urban ones were used, the industrial waters were discarded. With this, the subsequent debugging process can be improved. At the beginning, we will focus on the general operation of a WWTP:

Pre-treatment

Physical treatments, which separate the pollution that is floating or suspended in the waters. With this process we avoid that these particles damage the subsequent equipment. They are differentiated between:

-Greening -Greening -Degreasing

Primary decay

This part, for the production of biogas, it is convenient that the decanter used large sea. Here most of the sedimentary solids are separated.

Biological Treatment

We take the water to biological reactors, where organic matter will be degraded by biological sludge

Secondary decay
In this case, we will separate the biological sludge from the purified water, passing these first steps in the sludge line. In the sludge line, they will be treated and conditioned.

Tertiary treatment

Destined to improve the characteristics of the water. The process consists in eliminating microorganisms and water for their use.

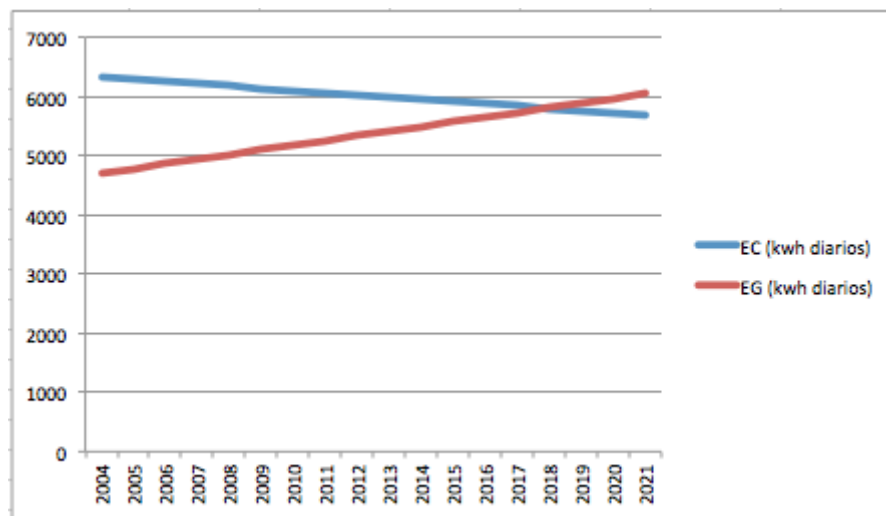
We must also add the plant where the sludge will be separated for its methanization. We need to obtain a good methane concentration so that the electric generation process is profitable. A check of the concentration of the effluent outlet will be required, it must not exceed the minimum purity levels required in the EU according to DIR 91/271 / EEC.

3. RESULTS

Our objective is to achieve a positive power balance, so that the WWTP achieves a good performance.

YEAR	ELECTRICITY GENERATION (Kwh per day)	ELECTRICAL CONSUMPTION (Kwh per day)
2019	5885,43	5757,42
2020	5964,67	6098,14
2021	6043,88	5681,7

Looking at the previous table it is verified, that the WWTP is capable of supplying itself in the three years, so that from these years the economic study will be taken. The following graph shows the power generated (EG) and consumed (EC) in each year (from 2004 to 2021) by the WWTP.



Based on the results obtained and with the flat rate information of € / kwh in Spain, it is possible to estimate the net benefit that would be obtained in each future year.

YEAR	BENEFIT FLAT RATE DAY (€)	BENEFIT FLAT RATE NIGHT (€)
2019	2.726	897,93
2020	5.219,67	1.719,34
2021	7.712,7	2.540,54

4. CONCLUSIONS

With the data from the WWTP and the obtained calorific power results, it can be concluded that the WWTP can transform its aerobic digestion into anaerobic, thus providing the possibility of producing biogas, which will subsequently lead to the generation of electrical energy.

It has been verified that the WWTP complies with the following conditions that require an anaerobic digestion:-Large amount of mud-Large primary scavenger-Big quantity of BOD-Great amount of nitrogen-Fangos active. Existing international agreements such as the Paris agreements or the Kyoto Protocol, lead us to think about the capacity we have to reduce pollution worldwide, in turn promoting new technologies, promoting sustainable development. We know why, at the beginning of this century there was the emergence of renewable energies in Europe, prevailing photovoltaic and wind energy, and to a lesser extent, biomass and biogas

Some countries such as Germany led the incentive policy, but the latter have been varying according to the economic crisis and public deficits.

Actually, we are pleased to carry out the project to obtain biogas, since it is the cleanest energy available, since it avoids the emission of carbon dioxide and methane gas at all times, controlling this through an aerobic process. However, in Spain, biogas is discriminated against wind and photovoltaic. There are difficulties when it comes to developing energy crops profitably due to the

scarce rainfall in the country, so we only have 30 anaerobic digestion plants, compared to 8,000 in Germany.

The main objective, due to the state in which we are in Spain, will be to increase the profitability of the biogas project, following the following paths:

1. Reduce the investment cost, which in our case will be based on increasing the production efficiency of the plant.
2. Reduce the cost of operation.
3. Give added value to the product, in this case to biomethane.

5. REFERENCES

The main information to which we are going to sustain is the WWTP itself, since having to produce biogas, we will need some requirements of it. We will attach the main pages on which we have based our project:

http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/DocuWeb/depuradores/dcpa_edar_castell_platjadaró.pdf

<http://www.ccbgi.org/abastaments.php>

<http://www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480399.html>

Juana, R. I. (2005). Proyectos de plantas de tratamientos de aguas. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración. BELLISCO EDICIONES.

MONGE, E. G. (2016). Integración de diferentes energías renovables en una estación depuradora de aguas residuales. Madrid: UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS.

CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN	16
2.ESTADO DEL ARTE	17
2.1. SISTUACIÓN EN ESPAÑA.....	17
2.2 ESTADO DEL BIOGÁS EN EUROPA Y ESPAÑA.....	21
2.3 BIOGÁS Y METANIZACIÓN	23
2.4 ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA	26
2.4.1. Posibles fuentes para la producción de biogás	27
2.5 REACTORES.....	28
2.5.1 REACTORES CON LA BIOMASA NO UNIDA A SOPORTE	31
2.5.2 REACTORES CON LA BIOMASA UNIDA AL SOPORTE	33
2.6 LA CODIGESTIÓN	35
2.7 PROCESOS DE DEPURACIÓN.....	35
Procesos físicos.....	36
Procesos químicos.....	36
Procesos biológicos	36
Pretratamiento y tratamiento primario	37
Tratamiento secundario	37
Tratamiento terciario	38
2.8 TRATAMIENTO DEL DIGESTATO	38
Proceso de separación mecánica.....	38
2.9 PROPUESTA ENERGÉTICA	40
3.OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	43
3.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	43
-SELECCIÓN DE UNA EDAR ADECUADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	43
- ESTUDIO DEL BALANCE DE POTENCIA ENERGÉTICA DE LA EDAR.	45
- ESTUDIO DEL BIOGÁS APROVECHABLE.	46
-ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE CUBRIR LA DEMANDA DE POTENCIA CON BIOGÁS.	46
4. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE COSTA BRAVA	47
4.1 ANTECEDENTES	47

4.2 SITUACIÓN, PARCELA.....	48
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA EDAR	48
4.3.1 LÍNEA DE AGUA.....	51
4.3.2 LÍNEA DE FANGOS.....	57
5. CONSUMO ENERGÉTICO DE LA DEPURADORA	60
6. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA.....	62
6.1 PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS	62
6.1.1. TIEMPO DE RETENCIÓN	62
6.1.2. VELOCIDAD ASCENSIONAL	62
6.1.3. PRODUCCIÓN DE METANO.....	63
6.2. CÁLCULOS DE CADA AÑO FUTURO	66
6.2.1. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2019	66
6.2.2. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2020.	69
6.2.3. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2021	72
7. CONCLUSIONES	76
8.BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	82
ANEXO 1. CONSUMO DE POTENCIA APARATOS EDAR.....	82
1. PRETRATAMIENTO.....	82
2. DESHIDRATACIÓN DE LOS FANGOS.....	82
3. LÍNEA DE AGUA.....	82
4. TRATAMIENTO TERCARIO.....	83
5. APORTACIÓN DE AGUA	83
6. CONTROL DEL SISTEMA	83
ANEXO 2. LISTADO DE EQUIPOS.....	84
ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTOS UASB.....	89

1. INTRODUCCIÓN

Tanto la crisis financiera como la volatilidad y aumento del precio de la energía, hacen que la reducción del consumo de energía sea un tema primordial y serio por parte de los gestores de saneamiento. Existe una cierta preocupación por la sostenibilidad y el cambio climático, apareciendo así la Estrategia europea 20/20/20 para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En 2010 se publican en España dos amplios estudios sobre el consumo energético del sector de aguas residuales. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2010) analiza el consumo energético de la depuración en España mientras que Hardy y Garrido (2010), estiman la huella energética del ciclo integral del agua - etapas de captación, tratamiento, abastecimiento, distribución y depuración. Ambos estudios concluyen que el tratamiento de aguas residuales supone un 1% del consumo energético nacional, de un total de 18.354 GWh/año.

El sector de la depuración ha experimentado un incremento en el consumo de energía en España debido al aumento de la población servida y a las nuevas exigencias de depuración (recogidas en la Directiva 91/271 y el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración). Existen diversas cuestiones que suponen un aumento considerable del consumo energético en las EDAR:

- Establecimiento de límites más restrictivos de vertidos de agua depurada, como nutrientes (Brandt, M. et al., 2010) o sustancias prioritarias (EA, 2009a).
- Mayores restricciones o prohibiciones de la disposición de fangos.
- Implementación de tratamientos de regeneración y la posterior reutilización del agua para distintos usos (Sala, L. 2007).

La principal meta del sector es adoptar ciertas medidas que reduzcan el consumo a partir de medidas de eficiencia energética, además de extender el aprovechamiento energético de las aguas residuales. Dichas estrategias son complementarias y tienen una gran perspectiva de desarrollo. Deben ser abordadas simultáneamente para poder llegar a un balance energético neutro, con ahorros energéticos relevantes. Para llegar a recuperar la energía, se ha optado por la producción de biogás con digestión anaerobia, una estrategia muy actual. Aparecen nuevos procesos en desarrollo para conseguir un aprovechamiento energético directo del agua residual como los sistemas anaerobios la depuración mediante algas (Rogalla et al., 2009, 2011) o bacterias generadoras de electricidad en *Microbial Fuel Cells (MFC)* (Esteve-Núñez et al., 2011).

Existen diversos estudios que hablan de la transformación de la depuración con el objetivo de alcanzar la EDAR energéticamente neutra (EA, 2009a, 2009b, Crawford, 2010, Brandt et al., 2010, Kjaer, 2011). En Europa, Inglaterra es el país que lidera esta cuestión, ya que todos los sectores industriales están muy influenciados por sus compromisos de reducción de gases de efecto invernadero, con un completo informe institucional que aborda el problema (EA, 2008). En España se observa un interés creciente por estos temas en los últimos años, tanto en los congresos nacionales desarrollados por el sector de servicios de agua (V y VII Jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración organizadas por ESAMUR, III y IV Jornadas Técnicas de Gestión de Sistemas de Saneamiento de Aguas Residuales organizadas por el ACA, VIII Conferencia sobre Gestión del Agua - AQUA'12) como por la existencia de grandes proyectos de investigación (NOVEDAR Consolider, SOSTAQUA Cenit).

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. SITUACIÓN EN ESPAÑA

"España se encuentra entre los países de la UE con una mayor tasa de dependencia energética, ya que necesita importar el 70,5% de la energía que consume, muy por encima del 53,2% de media comunitaria, según un informe publicado este lunes por la oficina estadística comunitaria, Eurostat"

<http://www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480399.html>

"En 2013, el consumo energético en la UE se situó en 1.666 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtoe, por sus siglas en inglés), lo que supone una vuelta a los niveles de principios de los años 90 y una reducción del 9,1% respecto al máximo de 1.832 Mtoe registrado en 2009. En España, el consumo fue de 127,7 Mtoe"

En 2014, el consumo de energía en España, teniendo en cuenta también dicho consumo para usos no energéticos, fue de 83.525 Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep), 2,7% inferior al de 2013. La causa de dicho cambio se debe a la situación económica y a los sectores consumidores, dándose similares condiciones climáticas y de laboralidad entre los dos años.

Por sectores, después de la recuperación de 2010, la tendencia del descenso de la demanda energética en la industria continúa, ya que ha bajado su actividad. Si se habla de los sectores residencial y terciario, la demanda ha ido bajando debido a una menor actividad en servicios, al no haber influencia significativa en las condiciones climáticas. Sin embargo, en el sector del transporte, la demanda ha aumentado, cambiando un poco el registro desde 2008. La demanda final de energía ha bajado un 1,9 % en 2014, en comparación a 2013, por una menor actividad económica y diferencias estructurales del consumo. En cuanto a los combustibles, se destaca la disminución de un 3,7 % en el consumo final de gas. El consumo de productos cuyo origen es el petróleo sigue bajando, un 2,7 % respecto al año anterior. En cuanto a energías renovables, el consumo sigue con las mismas cifras que el año anterior. En la figura 3 se comenta el consumo de energía final en los dos últimos años y la tasa de variación productiva

	2013	2014	Tasa de variación %
Carbón	1.523	1.315	-13,7
Gases Derivados del Carbón	230	232	0,9
P. Petrolíferos	39.054	38.572	-1,2
Gas	14.784	14.156	-4,2
Electricidad	19.953	19.576	-1,9
Energías renovables	5.293	5.294	0,0
Total usos energéticos	80.836	79.145	-2,1
Usos no energéticos:			
Carbón	0	42	
Prod. Petrolíferos	4.549	3.841	-15,6
Gas natural	470	539	14,7
Total usos finales	85.855	83.525	-2,7

Fig 1. Consumo de energía final (KTEP). Fuente: *Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España*

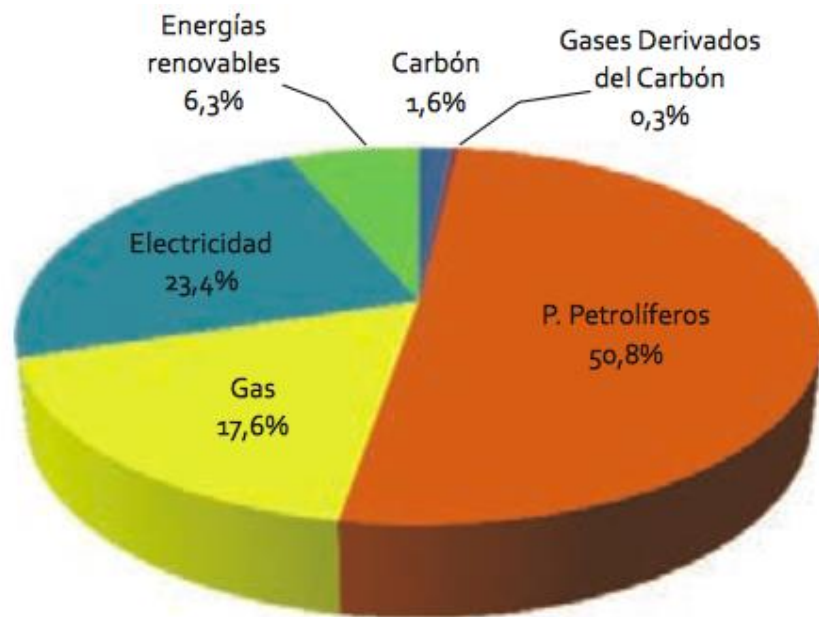


Fig 2. Consumo de energía final en 2014. Fuente: *Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España*

DEMANDA DE ENERGÍA PRIMARIA

El consumo de energía primaria en 2014 tuvo un descenso del 1,7% frente a 2013. La demanda de energía primaria es calculada como la suma del consumo de energía final, los consumos de los sectores energéticos y las pérdidas.

En el descenso registrado en 2014, inferior al de la energía final, ha tenido relevancia el cambio de estructura de la generación eléctrica. En concreto, en 2014 subió la generación con carbón y disminuyó la de gas natural.

Después del descenso de consumo registrado en 2014, se le da mucha importancia al cambio de estructura de la generación eléctrica. En este mismo año, sube la generación con el carbón, pero disminuye con el gas natural.

Por fuentes de energía primaria, cabe destacar en 2014:

- El consumo total de carbón tuvo un incremento del 5,1% sobre el de 2013, ya que hubo la mayor generación eléctrica con dicho combustible.

- El consumo total de petróleo tuvo un descenso del 1,1% sobre el de 2013, parecido al descenso de productos petrolíferos, ya que el consumo en generación eléctrica se consideró poco significativa sobre el total.

- La demanda de gas natural tuvo un descenso del 9,3% respecto a 2013, la causa principal de este descenso se debe a un menos consumo de generación eléctrica, debido al cambio producido en la estructura de la generación y a la evolución de la demanda eléctrica.

- La incorporación de energías renovables, sigue aumentando, continuando con la tendencia de años anteriores. En este año se incorpora la generación eólica, hidroeléctrica y solar.

-La energía hidroeléctrica en 2014 tuvo un 6,3% superior a la de 2013, después de haber obtenido poco en los años 2010 y 2011.

-No se destaca la energía eléctrica de origen nuclear, aumentó un 1 % en 2014

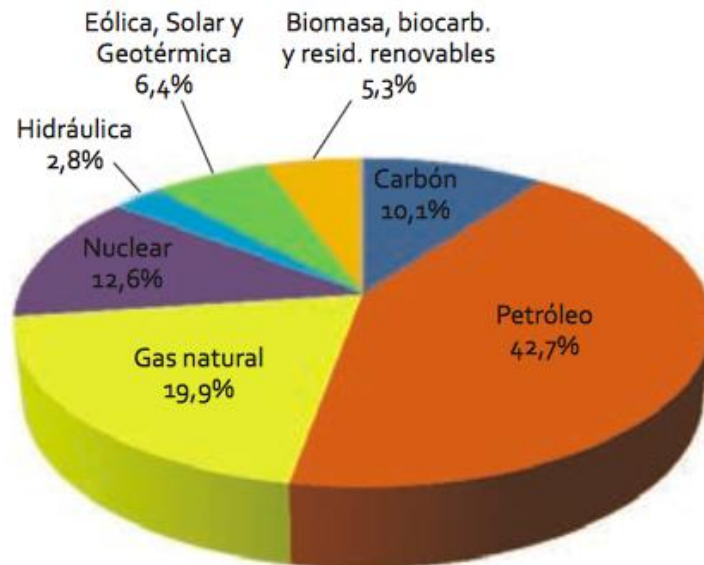


Fig 3. Consumo de energía primaria en 2014 sin incluir saldo eléctrico. Fuente: Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España

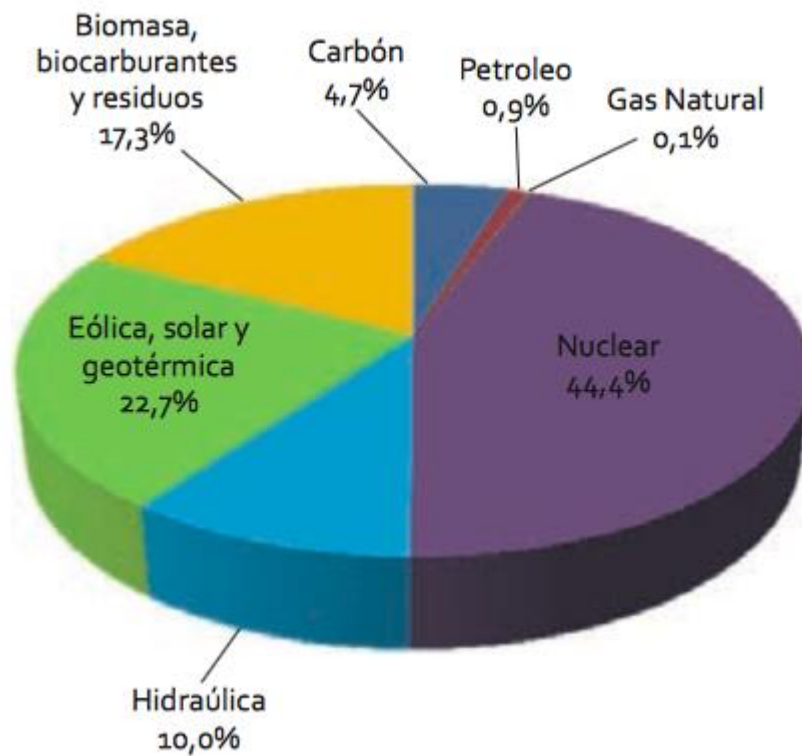


Fig 4. Producción interior de energía primaria en 2014. Fuente: *Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España*

INTENSIDAD ENERGÉTICA FINAL

El cuadro 2.4 recoge la evolución de la intensidad energética, expresada como consumo de energía final por unidad de PIB, desde el año 2000. En 2014 bajó un 4%, continuando así la tendencia de mejora observada desde 2004 (gráfico 2.5).

	Energía final/PIB tep/millón €2005	Energía final/PIB %variación anual
2000	114,8	1,6%
2001	116,0	1,1%
2002	114,4	-1,4%
2003	117,1	2,3%
2004	117,6	0,5%
2005	116,6	-0,9%
2006	109,2	-6,3%
2007	108,2	-0,9%
2008	103,4	-4,4%
2009	99,7	-3,6%
2010	101,3	1,6%
2011	98,3	-3,0%
2012	95,4	-2,9%
2013	93,1	-2,4%
2014	89,4	-4,0%

Fig 5. Intensidad energética final. Fuente: *Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España*

EVOLUCIÓN DE LA DEPENDENCIA ENERGÉTICA

Eurostat emplea una metodología para poder medir la dependencia energética, como se muestra en el gráfico siguiente (Fig 5). Se puede observar que a partir de 2008 se rompe la continuidad. En 2013, nos situamos alrededor de un 70,3 %, y 2014, nuestro año destacado, un valor de 73,2 %.

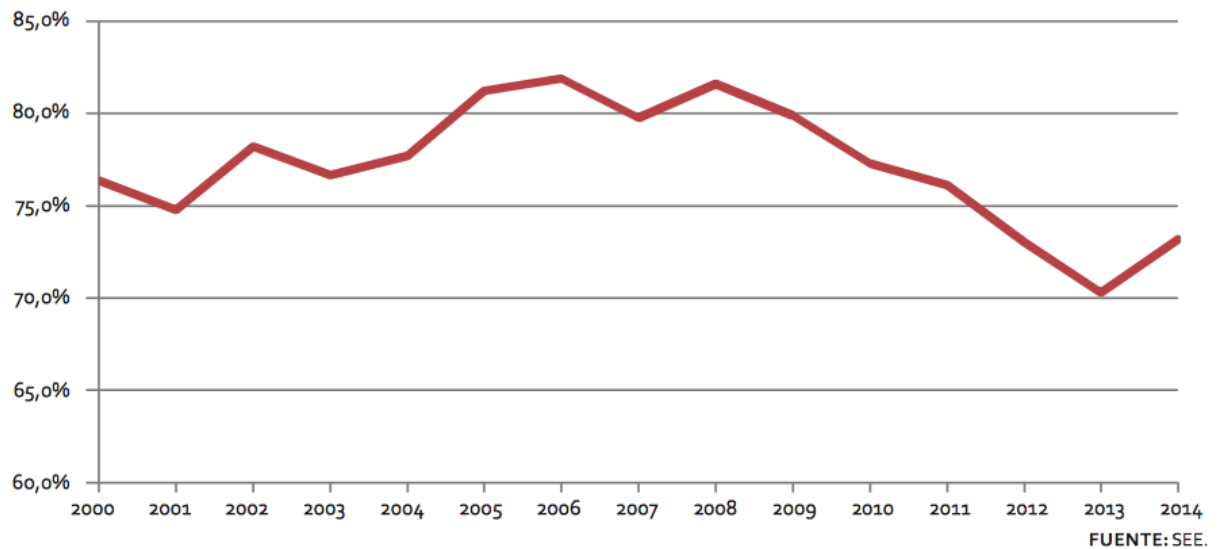


Fig 6. Gráfico de la evolución de la dependencia energética con metodología de EUROSTAT.
Fuente: Secretaría de Estado de Energía. Gobierno de España

2.2 ESTADO DEL BIOGÁS EN EUROPA Y ESPAÑA

El biogás comienza a ser reconocido en todo el mundo como una de las tecnologías más avanzadas para actualizar los desechos a valiosos fertilizantes y energía renovable.

EN EUROPA:

En Europa, la implantación del biogás es similar en prácticamente todos los países de la UE. Su tratamiento está vinculado en la Directiva 2009/28/CE.

La principal modificación que se quiere realizar por parte de la Unión Europea, produciendo biogás, es la eliminación de residuos. En 2010, el número total de residuos en la Unión Europea (UE-27), subió a 2.660 millones de toneladas. En la figura 5 se observa qué cantidad de residuos genera cada sector en la sociedad. La cifra fue superior este año que en 2008, pero inferior a las de 2004 y 2006.

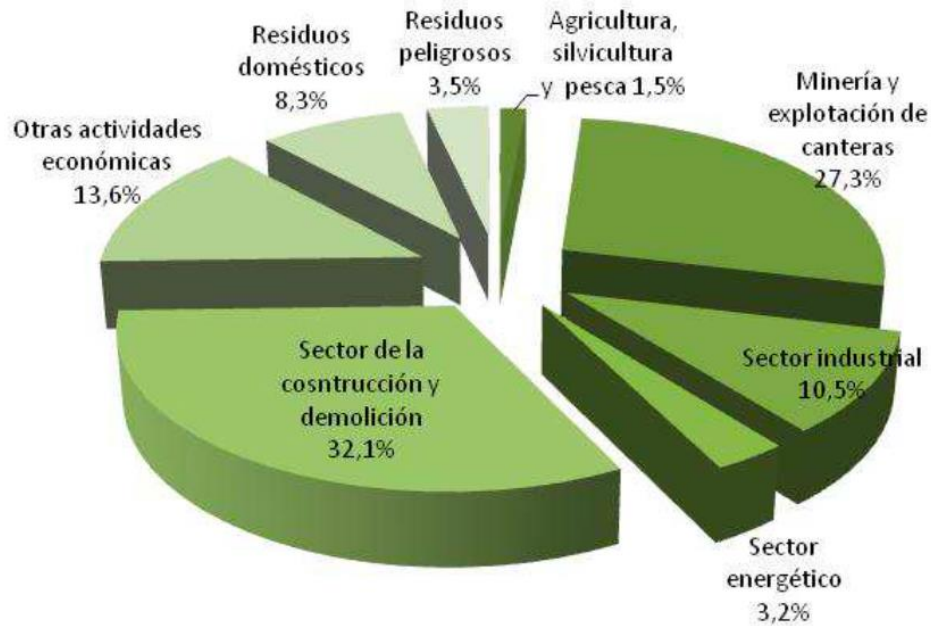


Fig 7. Porcentaje de residuos orgánicos en cada sector en Europa. Fuente: EBA (European Biogas Association)

El productor de biogás más representativo de la Unión Europea, es Alemania. El empleo de energías renovables llevadas a la generación eléctrica, está muy favorecido debido al marco jurídico regulativo de este país.

En cuanto a España, al igual que otros países europeos, todavía no se puede hablar de empleo con esta energía primaria, el biogás.

En el resumen que la EBA hace de 2012 reconoce que no fue un año para calificar de exitoso en la Unión Europea, principalmente por las reducciones de las tarifas para las plantas agroindustriales alemanas, que motivaron que solo se construyeran un tercio de las que levantaron en 2011. A pesar de todo, Alemania encabeza de largo con 8.700 plantas una lista que suma 13.800 en la UE, que se corresponden con 7.400 MW de potencia instalada.



EBA (European Biogas Association) se encarga de hacer un ranking del ascenso que tienen los países al construir mayor número de plantas. Italia, Francia y Reino Unido, ocupan los puestos 2º, 4º y 7º respectivamente en dicho ranking. Suiza está con 606 instalaciones. Si se habla de España, ocupamos aún el 22º puesto, teniendo instaladas 22 plantas, superando a Croacia, Rumania, Estonia, Bulgaria, Lituania y Chipre.

En la siguiente figura (Figura 12), se encuentran los datos del número de plantas de biogás y la capacidad total instalada entre los años 2010-2014. Se comprueba que va evolucionando la potencia; se empezó por 4000 MW llegando a 8000 MW aproximadamente.



Fig 8. Gráfico del número de planta de biogás y capacidad total instalada cada año en Europa.
Fuente: EBA (European Biogas Association)

2.3 BIOGÁS Y METANIZACIÓN

Existe un riesgo latente por la crisis energética nacional e internacional. El petróleo se está agotando y los hidrocarburos tienen unos precios cada vez más altos.

Hay una tendencia hacia fuentes de energía y producción de gas natural, asegurando el suministro de gas para futuras generaciones. El equipo que produce biogás llamado biodigestor o digestor el cual genera combustible, reduce los costos de producción cuando se combina con otra actividad productiva y es una iniciativa impulsada por la autoridad competente que brindan el Programa Nacional de Desarrollo de Bioenergéticos. El mercado nacional de biogás está creciendo bastante al ser competitivo contra otros combustibles.

Estos proyectos bioenergéticos tiene diversas ventajas de cara a la sociedad; en el ámbito humano, evita plagas y enfermedades; en el ámbito social, no se basa en la transformación de alimentos ni afectan a la seguridad alimentaria.

Un biodigestor es un contenedor natural y ecológico que recoge la digestión anaerobia de los fangos para convertir esto en gas y fertilizantes.

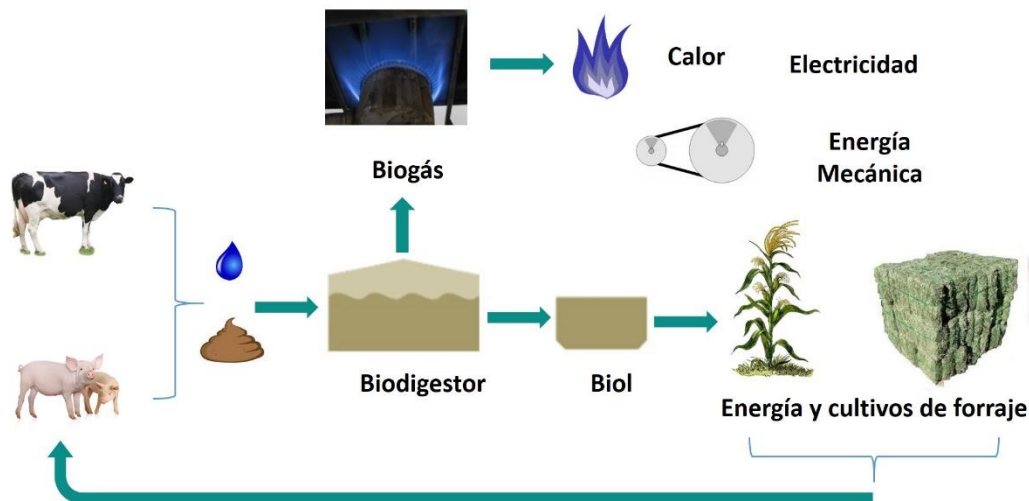


Fig 9. Esquema básico del proceso de formación del biogás. Fuente: Google imágenes.

Transformar residuos orgánicos en gases y, a la vez, reducir las emisiones a la atmósfera con el propósito de obtención de energía, permitiendo bienestar económico, desarrollo social y cultura ambiental.

- Produce biogás de manera natural, sustituye al combustible.
- Aprovecha los residuos orgánicos.
- El fertilizante es producido a partir de lodos.
- Se evita la emisión de gases de efecto de invernadero, fomentando el desarrollo sostenible.
- Evita problemas como enfermedades o malos olores.
- Aparece un beneficio por la venta de bonos de carbono.
- Cumple la normativa nacional e internacional.
- Aparece un personal especializado en esta rama.
- Capaz de incursionar en proyectos de vanguardia.

PROCESO DE BIOMETANIZACIÓN

La biometanización es un proceso en el que una selección natural de microorganismos descompone mediante una digestión anaerobia la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, en biogás y un residuo sólido estabilizado.

El biogás contiene dióxido de carbono, metano y otros gases. Es utilizado como combustible, ya que es rico en metano (en torno al 60%).

La aplicación de digestión anaerobia para tratar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es relativamente reciente, nunca se había utilizado para este tipo de procesos.

Los tratamientos más relevantes para la fracción orgánica son: la biometanización y el compostaje. La ventaja principal que presenta la primera técnica en relación a la segunda es el hecho de que se trata de una tecnología que no sólo no consume energía, sino que la produce. La principal ventaja que tiene la primera técnica es que genera energía y no consume, siendo esta además una energía renovable que contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero.

Otra de las ventajas, es que la digestión anaerobia tiene un grado de humedad elevado y requiere un equilibrio de nutrientes menos estricto que el que supone el compostaje. Pensando en la aerobia, esta

tiene mayor ventaja en caso de falta de disponibilidad de residuos de origen vegetal. A demás, al ser la biometanización un proceso más complejo, supondrá una mayor inversión inicial en su implantación.

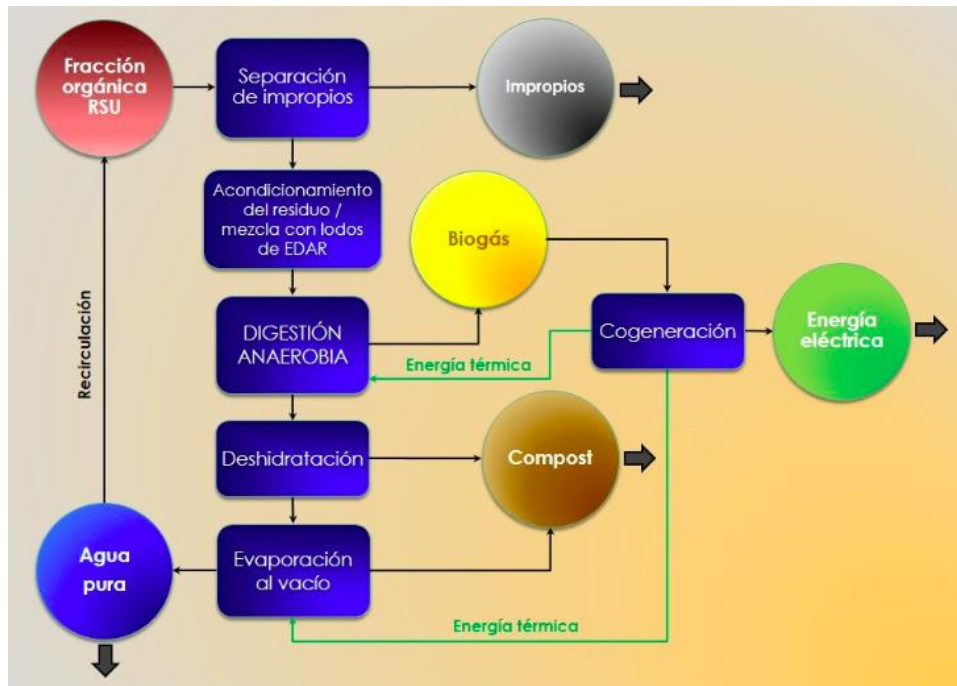


Fig 12. Esquema del proceso de biometanización a partir de digestión anaerobia. Fuente: condorchem envitech.

El proceso de biometanización lleva pegado a la digestión anaerobia. A continuación, veremos el producto final que esta genera asociados al proyecto.

PRODUCTO FINAL

-Baja generación total de sólidos biológicos

El producto final tiene características similares al compostaje producido aeróbicamente. Dicho producto se considera inerte y rico en nutrientes, pudiendo emplearse en la mejora del suelo para la agricultura.

-Eliminación de ácidos volátiles y compuestos biodegradables

Estos contribuyen a disminuir la fitotoxicidad del residuo final.

-Buenas condiciones de deshidratación mediante un proceso de secado

ENERGÍA

-Producción alta de biogás, compuesto por CH₄ Y CO₂.

-Producción de biogás susceptible para aprovechamiento energético y económico.

-Nivel de consumo energético bajo. Los costes del tratamiento son reducidos debido a la alta producción de biogás

-Reducción de emisión de gases que son causa del efecto invernadero.

El proceso de biometanización requiere cuatro fases, que resumen la actividad metabólica combinada de un conjunto de poblaciones microbiológicas en el reactor de la EDAR:

–**Etapa hidrólisis**

La hidrólisis térmica se realiza sobre la totalidad o una parte del lodo previamente a la digestión anaerobia. Esta configuración reduce el volumen de digestión necesario entre 2 y 3 veces, disminuye la cantidad de lodo producido garantizando su estabilización e higienización, a la vez que incrementa la producción de biogás.

Su uso permite duplicar la capacidad de digestión en la EDAR, evitándose de esta forma la necesidad de construir nuevos digestores en caso de sobrecarga de los ya existentes.

–**Etapa acidogénica**

Esta etapa, controlada por bacterias, consiste en transformar los compuestos de la primera etapa en otros compuestos con un peso molecular intermedio; como hidrógeno, dióxido de carbono, ácidos, metilamina, sulfídrico y amoníaco.

–**Etapa acetogénica**

En la tercera etapa, los ácidos y alcoholes que provienen de la segunda etapa se transforman, a través de bacterias, en hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético.

–**Etapa metanogénica**

En la última etapa se realiza la transformación bacteriana del ácido fórmico y el acético en dióxido de carbono y metano. Además, con el dióxido de carbono y el hidrógeno se forma el metano, principal compuesto para la producción de energía.

2.4 ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA

El biogás puede ser generado natural o artificialmente a partir de la digestión o degradación de la materia. En este proceso, aparece la acción de las bacterias metanogénicas, en ausencia de oxígeno molecular (proceso anaeróbico). Está compuesto, fundamentalmente, por metano (CH_4), que varía aproximadamente entre 50% y 70%, y dióxido de carbono (CO_2), que varía entre 30% y 40%, a lo que se añaden otros gases con porcentaje inferiores a 1%. Que exista una mayor o menor porción de estos elementos dependerá del tipo de materia orgánica.

En cuanto a la forma natural de capturar dicha energía, la digestión anaerobia es frecuente en aguas detenidas como humedales o fondos de lagos, por ello se denomina “gas de pantano”, por la liberación del metano. Dicho biocombustible es muy similar en su composición, ya que se produce con reacciones químicas sobre elementos totalmente semejantes.

Por otro lado, la forma artificial de obtener esta energía es a partir de la utilización de biorreactores o biodigestores. Estos últimos son aparatos que procesan la materia orgánica, produciendo así el biogás. El tamaño, la forma y los rasgos técnicos van a depender de las necesidades de la biomasa, la periodicidad con que se abastece la materia orgánica y las condiciones ambientales. Los biodigestores pueden ser estacionarios (deben ser cargados en cada proceso de fermentación) o de carga continua (semanal o diaria).

2.4.1. Posibles fuentes para la producción de biogás

Para la producción de biogás no existirían limitaciones en términos de materia orgánica. La madera o residuos leñosos son desaconsejables, debido a que, por su contenido de lignina, presentan mayores dificultades para su descomposición anaeróbica, requiriendo de tratamientos enzimáticos. Son más apropiados para aplicaciones termoquímicas.

Se sabe que para la obtención del biogás no existe ningún tipo de limitación en términos de materia orgánica. Aunque, por un lado, los residuos leñosos no son aconsejables debido a su contenido de lignina, teniendo mayores dificultades para la descomposición anaeróbica, que hacen que estos requieran tratamientos enzimáticos.

Dentro de los recursos disponibles que se consideran residuos de actividades productivas o humanas, se pueden mencionar las siguientes:

- purines de la industria lechera, ganadera, porcina, avícola. En este caso, el potencial de producción en biogás es relativamente bajo, pero son usados debido a su alta capacidad de contaminación.
- desechos de mataderos. Restos de animales y vegetales, los cuales llevan un alto contenido orgánico, fomentando su aprovechamiento.
- desechos de agroindustria. Restos de cultivo de cualquier tipo.
- desechos de la industria vitivinícola,
- residuos urbanos residenciales e industriales. Se trata de los residuos orgánicos sólidos urbanos. Se emplean como sustrato base.
- plantas de tratamiento de aguas servidas y plantas de biocombustibles. Estos producen glicerina, muy potente para la producción de biogás, el cual es un residuo polivalente empleado en cualquier industria.
- De lodos de depuradoras. Ellos permiten que la EDAR se pueda autoabastecer a partir del aprovechamiento térmico producido por estos lodos
- vertederos de basuras.
- Industria pesquera. Por ejemplo, sustancias de conservación.

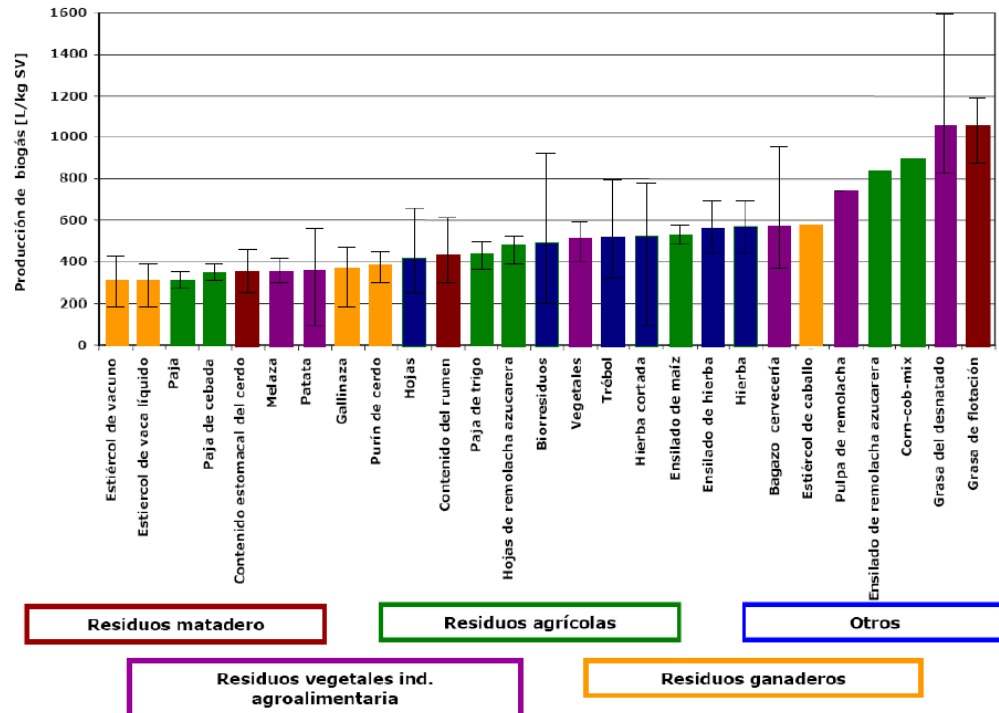


Fig 13: Rangos de producción potencial de biogás en función del residuo agroindustrial utilizado.
Fuente: Ainia, centro tecnológico.

2.5 REACTORES

REACTOR BIOLÓGICO

El tratamiento biológico de aguas residuales se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable.



Fig 14. Reactor biológico de Costa Brava. Fuente: Consordi Costa Brava.

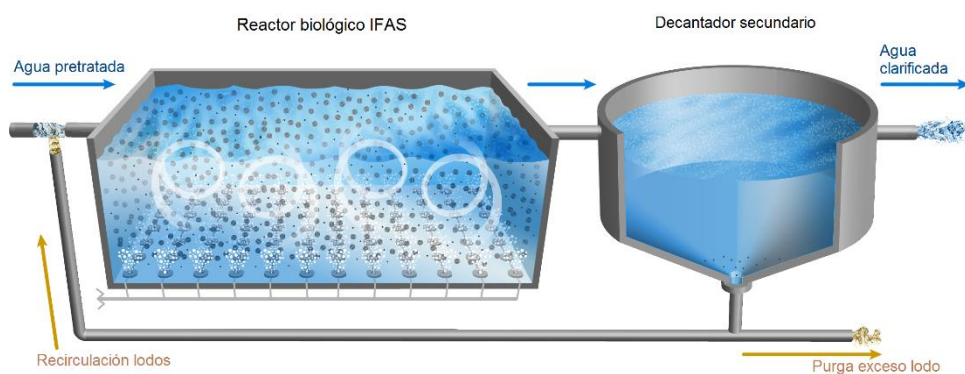


Fig 15. Funcionamiento del reactor biológico con los demás componentes de la EDAR. Fuente: Estudio Básico del Biogás.

Los sistemas de fangos activados que trabajan con cargas másicas bajas y tiempo de residencia altos, obtienen unos rendimientos de eliminación de materia orgánica elevados (en torno al 95%). Los microorganismos trabajan prácticamente en fase de respiración endógena, por lo que la generación de fangos es pequeña y además éstos se encuentran muy mineralizados. Por ello, la digestión de este tipo de fangos tiene rendimientos muy bajos, en torno al 25-30% reducción SV (Chauzy et al., 2007).

Existen distintos tipos de implantación de sistemas de fangos activos con los que se obtienen altos rendimientos de depuración y son ventajosos para el posterior tratamiento de digestión. Un ejemplo de referencia es el tratamiento de fangos activos de dos etapas (A/B) en la EDAR de Strass, en Austria. La planta no tiene tratamiento primario, la etapa A del biológico opera a alta carga con un tiempo de retención de sólidos (SRT) de 12 horas eliminando en el proceso de clarificación entre el 55-65% de la carga orgánica. Mientras, la etapa B opera a baja carga, con un SRT de 10 días, donde se elimina el nitrógeno (Wett et al., 2007).

Por otro lado, existen formas de operar los reactores de fangos activos con el fin de obtener un fango secundario menos mineralizado, por ejemplo, mediante la reducción del tiempo de retención celular (edad de fango) en el reactor biológico. La reducción de la edad del fango, manteniendo la misma calidad de efluente, se puede realizar en épocas estivales cuando la tasa de crecimiento de las bacterias, especialmente las nitrificantes, es elevada. Al reducir el volumen total de fango, es decir, la concentración de MLSS, disminuye la demanda de oxígeno ya que se reduce la respiración endógena y, por lo tanto, el consumo energético baja (Frijns y Uijterlinde, 2010). El fango queda menos

mineralizado y se incrementa su producción, lo que puede ser aprovechado en la digestión anaerobia para producir más biogás.

Esta es una medida que no precisa de costes de inversión para la EDAR, sin embargo, en los casos donde no existe digestión, dependiendo del coste de la energía y del tratamiento y gestión del fango, esta medida puede resultar en costes suplementarios de operación.

En el metabolismo celular, juega un papel fundamental el aceptor final de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas residuales. Atendiendo a cuál es dicho aceptor final de electrones se distinguen tres casos, pero nos centraremos en uno solo:

En cuanto al metabolismo celular, el aceptor final de electrones tiene un papel fundamental en el proceso de oxidación de la materia orgánica. Además, este aceptor tiene gran incidencia en las posibles aplicaciones al tratamiento de aguas residuales. Hay tres casos según el aceptor final de electrones: anaerobio, aerobio y anóxico.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar. Los criterios que ayudan a seleccionar si es más conveniente un proceso aerobio, o bien si un proceso anaerobio será mayor provechoso, son la concentración de materia orgánica a eliminar, si es necesaria la eliminación de nitrógeno, la disponibilidad de espacio físico y la relación entre el OPEX y el CAPEX del proyecto. En la siguiente tabla se puede observar cómo en función de estos criterios, qué tipo de proceso (aerobio o anaerobio) es más conveniente:

	Aerobio	Anaerobio
Concentración materia orgánica	DQO < 3.000 mg/L	DQO < 3.000 mg/L
Espacio requerido	Muy elevado	Pequeño
Eliminación de nutrientes	Posible	No es posible
CAPEX (costes de inversión)	Bajo	Elevado
OPEX (costes de explotación)	Elevado	Bajo

Fig 16. Diferencias entre digestión aerobio y anaerobia. Fuente:
<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-anaerobios-tipos-y.html>

Por otro lado, la biomasa puede crecer libre, en suspensión en el interior del biorreactor, o bien adherida a un soporte (biomasa fija). En el proceso convencional crece en suspensión, igual que en el caso de los reactores secuenciales (SBR) y en los reactores de biomembrana (MBR). En los reactores de biodiscos, biofiltros, filtros percoladores o de lecho móvil (MBBR) la biomasa crece adherida a la superficie de un soporte de plástico o de arena. Este criterio, si la biomasa crece en suspensión o fijada a un soporte, conlleva una serie de consecuencias prácticas que conviene tener en cuenta en el momento de seleccionar qué tecnología es la más conveniente. En la siguiente tabla se resumen:

	Biomasa fija	Biomasa en suspensión
Espacio requerido	Bajo	Alto
CAPEX (costes de inversión)	Alto	Bajo
OPEX (costes de explotación)	Bajo	Alto
Eliminación de nutrientes	Baja	Alta
Flexibilidad de operación	Media-Baja	Alta
Respuesta a tóxicos y/o inhibidores	Media-Baja	Alta

Fig 17. Diferencias entre biomasa fija y biomasa en suspensión. Fuente: <http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-anaerobios-tipos-y.html>.

Los reactores biológicos usados para una EDAR, se dividen en dos grandes grupos según el crecimiento microbiano:

- 1. De lecho fijo, formando biopelículas.** Aquí la biomasa se constituye por bacterias que forman una película sobre un soporte inerte.
- 2. De crecimiento libre o suspendido.** Estos dependen de los microorganismos, los cuales deben formar gránulos en el reactor. Las bacterias crecen en suspensión y forman estructuras que les permiten permanecer en el reactor siendo no lavadas por el efluente. La eficiencia de todo el procedimiento dependerá de la capacidad del inóculo para formar dichas bacterias.

2.5.1 REACTORES CON LA BIOMASA NO UNIDA A SOPORTE

A continuación, se nombrarán dos de los reactores más usados en España, con biomasa no unida al soporte.

2.5.1.1 Reactor de mezcla completa (CSTR)

Un reactor CSTR es un tanque en el cual la masa reaccionante es continuamente agitada de tal manera que se considera como una mezcla completa y, por lo tanto, se asume que sus propiedades son uniformes en todo el interior del reactor.

A continuación, se presenta la ecuación para el diseñar este tipo de reactor:

$$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \frac{X_A}{-r_A} \qquad \frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \frac{X_A}{-r_A}$$

V: Volumen del reactor

FAo: Flujo molar del reactivo límite

τ : el tiempo espacial

CAo: concentración del reaccionante A en la corriente de entrada

XA: conversión de A y rA

RA: velocidad de reacción de A

Para la simulación del reactor CSTR, el número de variables que requiere la especificación completa son seis, si la velocidad depende esencialmente de la concentración de uno de sus reaccionantes (hablando de una reacción de tipo cinético). Las variables más utilizadas son: flujo calorífico en la corriente de energía, el volumen del reactor, la caída de presión en el tanque, etc.

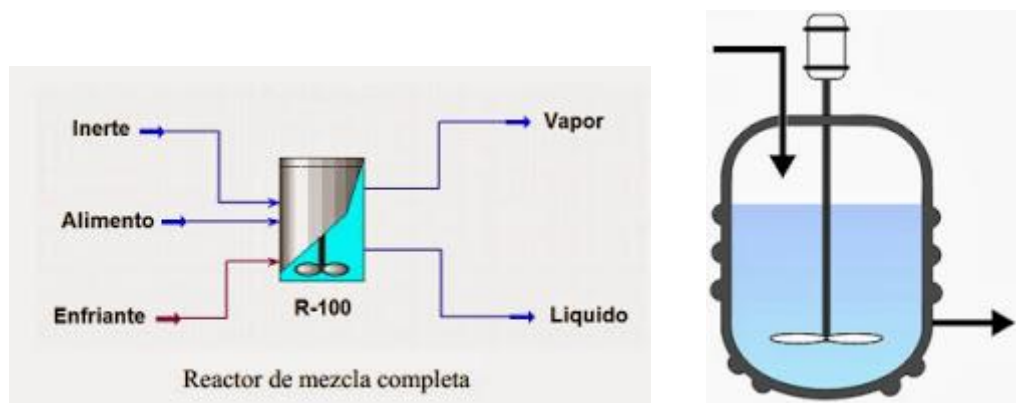


Fig 18. Simulación del reactor CSTR con reacción de tipo cinético. Fuente:
<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-anaerobios-tipos-y.html>.

2.5.1.2 Reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho/manto de lodos (UASB)

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB) es un proceso de tanque simple. Las aguas residuales entran en el reactor por el fondo, y fluyen hacia arriba. Una capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándola.

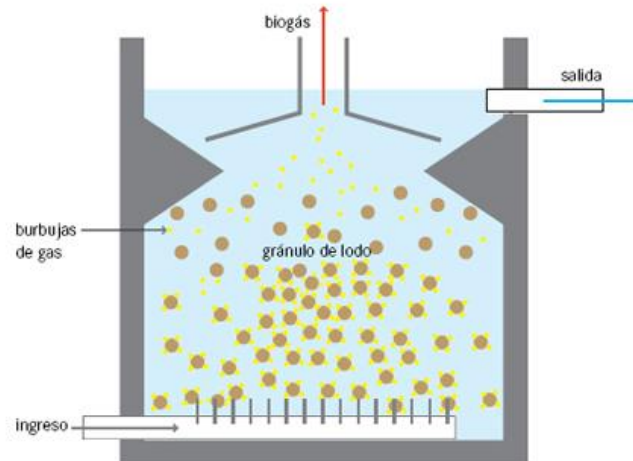


Fig 19. Partes que componen al reactor UASB. Fuente:

<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-anaerobios-tipos-y.html>

Es un proceso de tanque simple, donde las aguas residuales entran en el reactor por el fondo y fluyen hacia arriba. La capa de lodo es capaz de filtrar las aguas residuales, tratándolas al atravesarla.

La capa de lodos está constituida por gránulos de microbios, microorganismos que se resisten a ser arrastrador por el flujo ascendente por su propio peso. Los microorganismos degradarán los compuestos orgánicos. Finalmente se liberan gases: bióxido de carbono y metano.

2.5.2 REACTORES CON LA BIOMASA UNIDA AL SOPORTE

2.5.2.1 Reactores de contacto con soporte (CASBER)

Estos reactores son, en esencia, idénticos a los sistemas de contacto pero con la incorporación de un medio inerte en el reactor. En este caso, la adición de material de soporte es extremadamente limitada en comparación con la cantidad usada comúnmente en, por ejemplo, los reactores de lecho fluidizado.

Dichos reactores son iguales a los sistemas de contacto pero incorporando un medio inerte. Si se compara con los reactores de lecho fluidizado la adición de material de soporte es extremadamente limitada.



Fig 20. Reactor de contacto con soporte (CASBER). Fuente:

<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-de-contacto-consoporte-casber.html>

Las partículas son aproximadamente de un diámetro entre 5 y 25 mm. Tienen baja velocidad de sedimentación, pudiendo mantenerse en suspensión con un bajo grado de agitación. Un alto porcentaje de la biomasa activa aparece como flocúlos en suspensión, mientras que el otro pequeño porcentaje de bacterias se soporta en dichas partículas.

2.5.2.2 Reactores de lecho fluido y lecho expandido (FB/EB)

Un reactor tipo FEB, consiste en una estructura cilíndrica, que permite la acumulación de elevadas concentraciones de biomasa debido al soporte inerte de pequeño tamaño que tiene. Gracias al flujo vertical generado por la elevada recirculación, se produce la expansión del lecho. Dicha expansión se produce cuando la fuerza gravitacional de descenso es igual a la fricción por arrastre.

La empresa Parr Instrument Company manufactura y vende este tipo de reactores químicos en España y otros países europeos.

Los reactores de lecho fluidizado Parr tienen una característica que los define en su totalidad; el lecho de sólidos está soportado por un flujo de gas. Este lecho debe ser eliminado con frecuencia. Otra característica de este tipo de reactores, es que tienen muy buena transferencia de calor, la cual es una de sus principales parámetros de diseño.

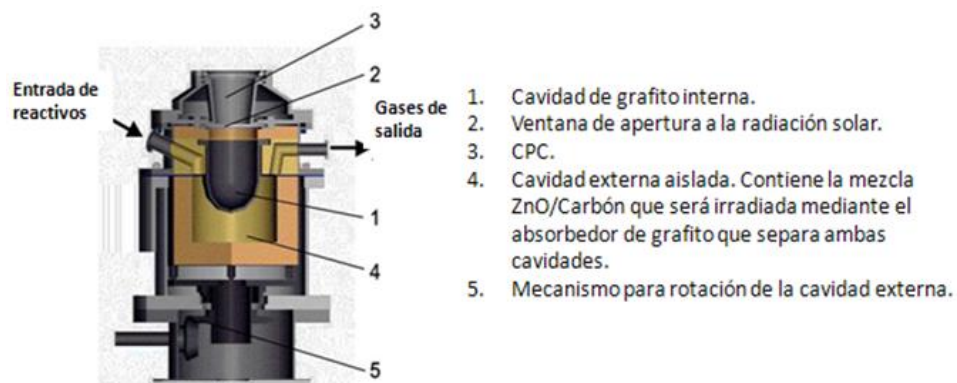


Fig 21. Partes del reactor de lecho fluido y lecho expandido. Fuente:
<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-de-contacto-consoporte-casber.html>

2.6 LA CODIGESTIÓN

La tecnología que se emplea para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales es la digestión anaerobia. La co-digestión es el tratamiento de dos o más residuos.

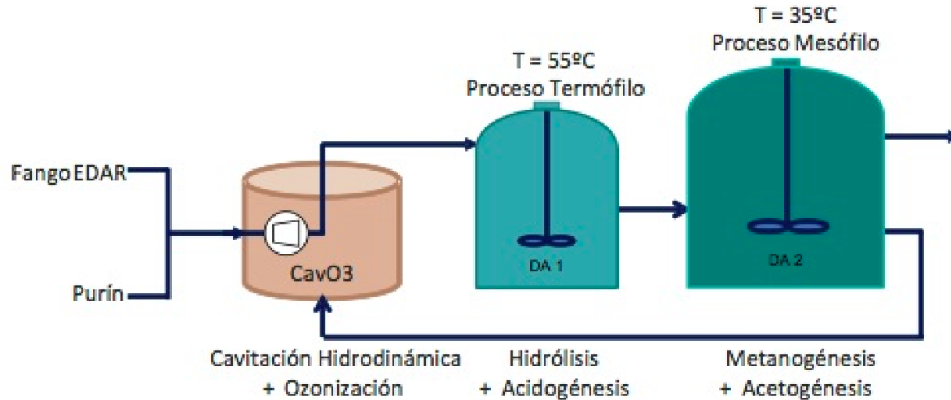


Fig 22. Gestión mancomunada de lodos y purines mediante co-digestión. Fuente: AINIA.

La digestión anaerobia, ya descrita anteriormente, permite conseguir una forma de energía renovable además de reciclar los residuos transformándolos en fertilizantes para la agricultura.

La co-digestión anaerobia aprovecha la complementariedad de la composición de los residuos, haciéndolos así más eficientes los procesos. Además, al compartir instalaciones de tratamiento, unifica su gestión, reduciendo así costes de inversión y operación.

2.7 PROCESOS DE DEPURACIÓN

Las depuradoras son instalaciones industriales cuya finalidad es eliminar la contaminación de las aguas que tratan. A través de los colectores, llega el agua residual que viene de los núcleos urbanos y polígonos industriales. La composición química de estas aguas genera graves daños en el medioambiente de los ríos, descartando su uso para actividades como el riego agrícola.

La EDAR debe adaptar todos sus procesos y tratamientos siguiendo la calidad de las aguas definida por la legislación.

De manera concentrada y automática se produce la depuración de las aguas residuales dentro de la EDAR, que suceden de forma natural en un río.

Los procesos se realizan de forma independiente o combinada. Los encargados del tratamiento de aguas, diseñan la secuencia de dichos procesos reduciendo los parámetros de contaminación.

Los ingenieros y licenciado con formación técnica en este tipo de procesos, logran el mayor rendimiento posible de los procesos de depuración. Conocer a fondo los procesos es esencial para llevar una clara operación y mantenimiento de la EDAR.

La clasificación de los procesos de depuración de una EDAR serían:

Procesos físicos



Fig 23. Tratamiento físico en una EDAR. Fuente: TECPA.

Los procesos físicos consisten en la aplicación de fenómenos físicos: fuerza centrífuga, gravitatoria, de retención y de cohesión. El primer proceso físico que existe en una EDAR, es el predesbaste. Pero existen otros muchos procesos físicos para tratar el agua: el desbaste de sólidos, desengrasado, desarenado, sedimentación, evaporización, flotación, absorción y desinfección.

Procesos químicos

En este tipo de procesos se realiza la adición de productos químicos. A veces, deberán emplearse reactivos químicos, provocando reacciones que favorezcan la eliminación de contaminantes. Los distintos tratamientos químicos de aguas residuales son: la floculación, la coagulación, la neutralización, la oxidación, la reducción, el intercambio iónico, la absorción, y la desinfección.

Procesos biológicos



Fig 24. Reactor biológico de una EDAR. Fuente: TECPA.

El proceso más complejo y también el más influyente en la eliminación de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales es el proceso biológico. Este proceso se caracteriza por favorecer la actividad biológica de ciertas bacterias y microorganismos que se alimentan de sustancias orgánicas biodegradables. Las sustancias se transforman en gases, que pueden dispersarse en la atmósfera o transformarse en tejido celular biológico que en una fase posterior sedimentará al fondo.

Sin duda, el proceso más difícil de aguas residuales para la eliminación de contaminantes es biológico. En este tratamiento, se favorece la actividad biológica de las bacterias y microorganismos, alimentándolos de sustancias orgánicas biodegradables. Estas sustancias, se transforman en gases, cuyo destino puede ser la atmósfera o bien, transformarse en tejido celular biológico (más tarde sedimentaría al fondo).

Se necesita total control en los parámetros biológicos y medidas del caudal, según los distintos tramos de la EDAR.

Los tratamientos basados en estos procesos de depuración de aguas residuales son:

- Los fangos activos
- Los lechos bacterianos
- Los lechos de turba
- El lagunaje
- Los biodiscos
- Los sistemas de filtración al suelo.

Estos tratamientos se utilizan para disminuir los contaminantes del agua a tratar. Para ello se van combinando varios procesos. Cada tratamiento, según la fase en la que se encuentre, tiene un objetivo en la depuración. Se recomienda en ocasiones hacer variaciones en los tratamientos convencionales, ya se deba a las circunstancias locales, la composición del agua o el destino final del efluente. Pero siempre, podemos generalizar los tratamientos en tres grandes grupos:

Pretratamiento y tratamiento primario

El pretratamiento idéntico en todos los tratamientos de agua (depuración, potabilización y desalación). El pretratamiento no depende del nivel de contaminación que presente el agua a tratar. Se sitúa en la cabecera de la instalación. Su objetivo es proteger a la estación de aguas de fragmentos gruesos que pueden provocar averías.

El tratamiento primario se sitúa en primer lugar porque elimina elementos presentes en las aguas, que perjudican las máquinas e impiden un tratamiento más fino en la EDAR. Su objetivo fundamental es la eliminación de los sólidos flotantes, los sólidos en suspensión, las arenas, las grasas, y los aceites. En el tratamiento primario de una EDAR encontraremos: desbaste de sólidos, desarenador, desengrasador, decantación primaria y lagunaje anaerobio. Se consideran procesos físicos.

Tratamiento secundario

Habitualmente, se trata de tratamientos biológicos, que suceden en la línea de agua al tratamiento primario de una EDAR. Su objetivo fundamental es la eliminación de la materia orgánica. Es un tratamiento muy complejo, pero que logra unos rendimientos de eliminación de la materia orgánica de hasta un 90 %.

Es un proceso biológico que aparece en la línea de agua de una EDAR. Su principal finalidad es la eliminación de la materia orgánica. Este tratamiento se considera el más complejo, ya que debe conseguir unos rendimientos en la eliminación de un 90 %.

En este tipo de tratamiento encontraremos: los fangos activos, los reactores secuenciales, el lagunaje facultativo, las lagunas aireadas, los lechos de turba, y los biodiscos.

Tratamiento terciario

El principal objetivo del tratamiento terciario es la eliminación de agentes patógenos, además de lograr una disminución de sólidos en suspensión y materia orgánica residual. Después de todo esto, elimina los coliformes fecales y totales.

Se recomienda este tipo de proceso cuando se quiera reutilizar el agua para riego de jardines públicos, que no causen ningún daño a la salud humana. Por este motivo, se suelen denominar tratamientos avanzados.

Perteneciendo al tratamiento terciario podemos encontrar: procesos específicos de eliminación de nitrógeno, procesos de eliminación de fósforo, biodiscos y lechos bacterianos, filtros verdes, microfiltración, ultrafiltración, ozonización, y desinfección por ultravioleta.

2.8 TRATAMIENTO DEL DIGESTATO

Se considera digestato al subproducto semi-líquido que resulta de la digestión anaerobia. Se utiliza como fertilizante orgánico. Los estudios realizados sobre digestatos evalúan la calidad agronómica de estos, para poder mejorarla en caso de que no sea suficientemente buena, aumentando así la rentabilidad de los proyectos asociados al biogás.

Se pueden destacar dos grandes ventajas del digestato:

- En comparación con los residuos orgánicos que existen antes de su digestión, los digestatos son más eficientes para uso agrícola, con menos olores y mayor calidad higiénica
- Los digestatos presentan un alto grado de mineralización cuando se pasa el nitrógeno y fósforo orgánico a mineral después de la fermentación. Se puede asimilar a un fertilizante mineral. Por consiguiente, es capaz de sustituir los fertilizantes sintéticos, cuyos precios son más elevados y emiten CO₂ a la atmósfera.

El **digestato** puede aplicarse de forma directa, o previa separación en dos fracciones, sólida y líquida.

SI se opta por la separación de la parte sólida y líquida se puede hacer:

Proceso de separación mecánica

En este caso, se lleva a cabo un tratamiento del purín mediante separación de residuos líquidos y sólidos. La parte sólida sería la que se aprovecharía como fertilizante y la parte líquida habría de ser gestionada como residuo.

En este proceso, se realiza un tratamiento purín a partir de la separación de residuos líquidos y sólidos. La parte que es sólida, se aprovecha como fertilizante y la líquida se considera residuo.

El inconveniente de este proceso es la poca eficiencia cuando se separan los líquido de los sólidos.

Planta de producción de biogás

Una vez analizado el proceso de separación mecánica, se reduce el volumen del digestato para recuperar esa cantidad de fertilizante que se pierde, resultando así más rentable y eficiente el proceso. Con esta idea, se reducen los costes por gestión de residuos y se aumentan los ingresos en la venta de fertilizantes.



Fig 25. Planta de producción de biogás con evaporización de digestato. Fuente: TECPA.

Este proceso se divide en dos partes:

- La primera fase es mezcla los purines con biomasa, transformandólos en biogás en el biodigestor. Dicho biogás se transforma después en energía eléctrica en el combustor
- Por el alto contenido en amoníaco que tienen las sales se considera un efluente no vertible. A esto se le denomina digestato, el cual se trata en un evaporador al vacío, permitiendo recuperar un 97% de agua limpia además de un concentrado que se puede convertir en fertilizante estabilizado a partir de un depósito de compostaje. La evaporización al vacío es una de las tecnologías más eficientes para la separación de líquidos en el digestato

2.9 PROPUESTA ENERGÉTICA

Con la cantidad de un **metro cúbico de biogás** se puede:

- Producir electricidad durante más de seis horas, lo que equivale a una bombilla de 60 voltios aproximadamente.
- Hacer funcionar y enfriar un refrigerador de un metro cúbico de capacidad por toda 1 hora.
- Poner en funcionamiento una incubadora de 1 metro cúbico por más de 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP por 2 horas.

El metano es el principal componente del biogás, le confiere sus características como combustible. El valor energético del biogás se determina por la concentración de metano y se ubica alrededor de 20 a 25 MJ/m³, comparado con 33 a 38 MJ/m³ para el gas natural (Werner et al., 1989). Su poder calórico es de aproximadamente 4.000 a 5.000 Kcal/m³.

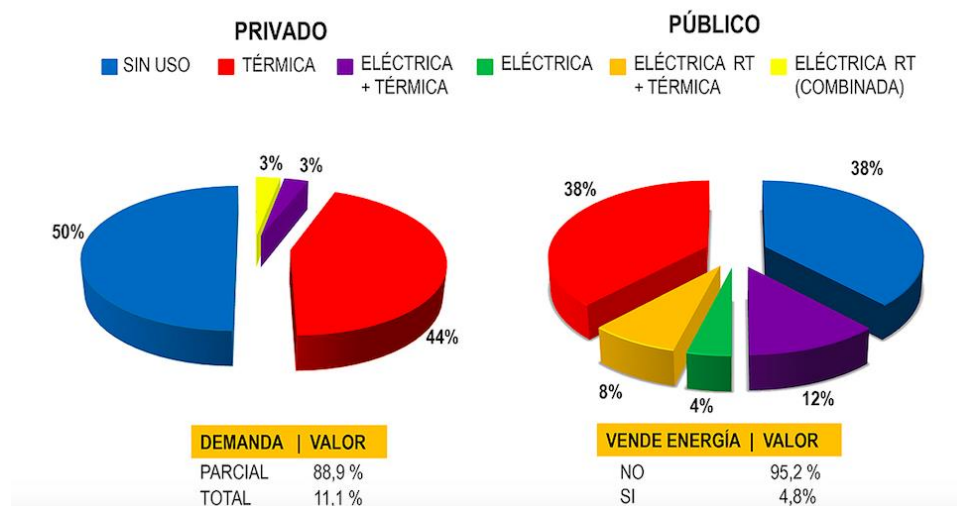


Fig 26. Gráfico de distribución del uso del biogás. Fuente: Unsam.

Las aplicaciones a las cuales puede acceder el biogás son múltiples, pudiéndose destacar en los siguientes ámbitos:

Generación eléctrica

La producción de biogás permite dos tipos de energía: la generación de calor mediante la combustión y la generación eléctrica mediante turbinas de gas.

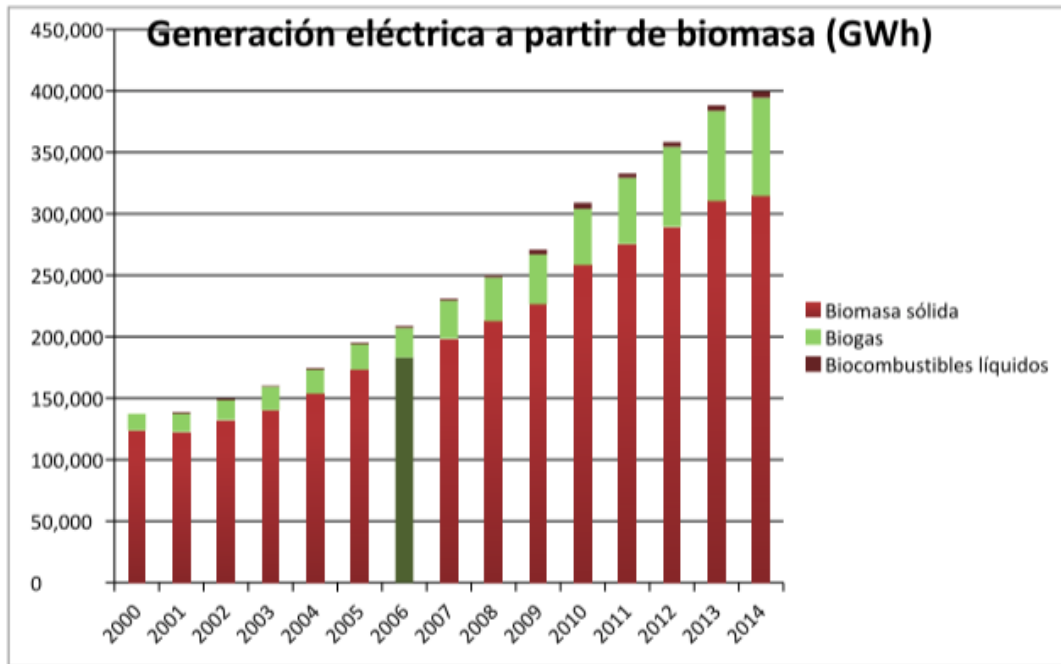


Fig 27: Generación eléctrica a partir de producción de biogás en España entre 200-2014.
Fuente : Ainia

Autoconsumo

Esto sería la forma más difundida para países subdesarrollados y en vías de desarrollo. Se establecen biodigestores a pequeña o mediana escala, que producirán el biogás, el cual se usará para cocinar en combustión directa. Además, podría ser utilizado para calefacción, iluminación y para reemplazar al combustible diésel en motores (combustión interna)

Cogeneración

El biogás se utiliza como combustible para motores diésel y gasolina. En este caso, se produce energía eléctrica a partir de un generador. Si se habla de los motores diésel, el biogás es capaz de reemplazar hasta el 80 % de combustible fósil (su baja capacidad de ignición no permitiría su reemplazo total en este tipo de motores, que carecen de bujía para la combustión). En cuanto a los motores de gasolina, el biogás puede reemplazar prácticamente la totalidad de la misma, pero normalmente en los proyectos a nivel agropecuario se le da preferencia a los motores diésel. Esto se debe a que se trata de un motor con mayor resistencia y que está más adaptado al medio rural. Con esta sustitución se permite generar, de manera simultánea, energía térmica útil, que es una ventaja desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Red pública de gas natural (GN) y calefacción

Es de los más común en las pequeñas ciudades de Europa; el problema, es que la incorporación del biogás a la red pública de gas natural, requiere un procedimiento para conseguir la calidad del gas natural. Normalmente, las ciudades donde se instala cuentan con un equipamiento necesario para alcanzar la máxima eficiencia energética: producir electricidad, generar vapor para calefacción y transformación del biogás en gas natural.

Elaboración de hidrógeno

El problema del hidrógeno, aunque exista mucha en la naturaleza, no se encuentra “libre”. Se realizan estudios continuamente de innovación biotecnológica para alternativas con el biogás, ya que el 99 % del hidrógeno se produce a partir de combustibles fósiles.

Diversos estudios de digestión y fermentación bacteriológica demuestran que la producción de hidrógeno a partir de biomasa resultaría económicamente viable. Que se quiera realizar una inversión en este tipo de proyecto, no sólo es por la producción en el ámbito económico, sino también quiere contribuir a reducir la generación de CO₂.

Para conseguir un desarrollo tanto cualitativo como cuantitativo en las energías sustentables, se deberá lograr la máxima eficiencia superando los factores señalados anteriormente.

La digestión anaerobia es uno de los procesos más económicos y de fácil adquisición en las comunidades. Ya sea uso directo o indirecto, el biogás tiene diversas aplicaciones: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, calefacción ambiental para uso residencial y comercial, calor útil para procesos industriales, accionamiento de bombas de agua y otras maquinarias agrícolas, motores de combustión interna para energía motriz y generación de electricidad. En la figura 20 se muestra diversas alternativas del biogás.

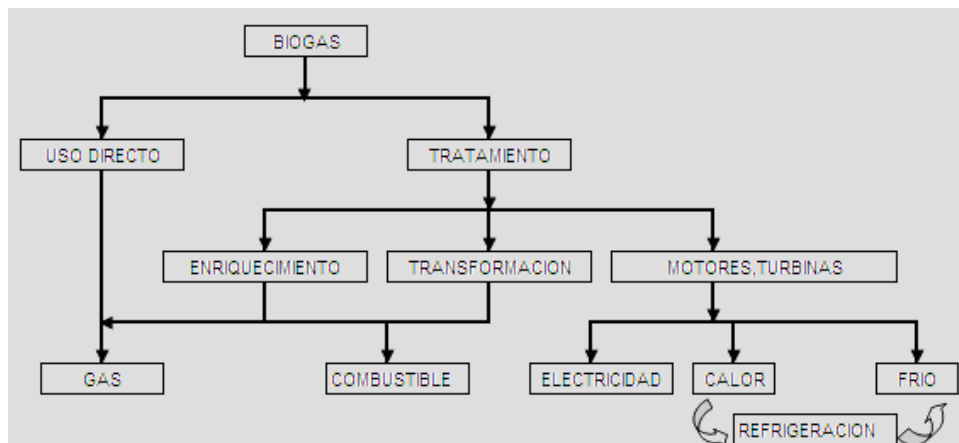


Fig 28: Diagrama de las alternativas de uso del biogás. Fuente: ODEPA. Universidad Pinares del Río, Cuba.

3.OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Nos encontramos en una situación crítica para el planeta, tomando medidas estrictas. Las renovables son nuestra solución y queremos potenciar esto. Nuestra intención es utilizar los residuos urbanos, como materia prima para la posterior transformación de esta a energía eléctrica, consumida por todos los ciudadanos. Nuestra EDAR está suficientemente cualificada para la formación de biogás. Este tipo de proceso resulta sencillo, porque la EDAR puede ser construida en cualquier municipio español. Hemos optado por Gran Canarias, al ser isla, necesita una potencia eléctrica suficiente como la que podría proporcionar una EDAR, sustituyendo esta a líneas eléctricas como las que alimentan a Madrid.

Con nuestra tecnología avanzada para la construcción de la EDAR, se garantizará el grado de depuración adecuado para la consecución de los valores límite autorizados de emisión del vertido, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental determinadas para el medio receptor, mejorándose incluso éstos parámetros de manera que se obtenga agua apta para la reutilización en el proceso, permitiendo una disminución del consumo de agua de la red.

Actualmente, son numerosos los estudios que plantean la transformación de la depuración con el objetivo de alcanzar la EDAR energéticamente neutra (EA,2009a, 2009b, Crawford, 2010, Brandt et al., 2010, Kjaer, 2011). En Europa, Inglaterra es el país que lidera esta cuestión, ya que todos los sectores industriales están muy influenciados por sus compromisos de reducción de gases de efecto invernadero, con un completo informe institucional que aborda el problema (EA, 2008). En España se observa un interés creciente por estos temas en los últimos años, tanto en los congresos nacionales desarrollados por el sector de servicios de agua (V y VII Jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración organizadas por ESAMUR, III y IV Jornadas Técnicas de Gestión de Sistemas de Saneamiento de Aguas Residuales organizadas por el ACA, VIII Conferencia sobre Gestión del Agua - AQUA'12) como por la existencia de grandes proyectos de investigación (NOVEDAR Consolider, SOSTAQUA Cenit).

3.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este trabajo se enfoca en la estrategia del aprovechamiento energético de los fangos de depuradora. Esta línea de mejora energética destaca además por su papel en la promoción de las energías renovables y por el aprovechamiento de un residuo.

A continuación, se desarrollan los principales objetivos del proyecto.

-SELECCIÓN DE UNA EDAR ADECUADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Como hemos mencionado antes, nuestra EDAR, se usará para la producción de biogás, a partir del metano conseguido. Para ello, este sistema debe disponer de unas características que favorezcan esta producción. Tenemos suerte por un parte, ya que la producción de biogás no depende del terreno, por lo que podemos implantar nuestra EDAR en cualquier territorio español.

Los principales rasgos en los que nos hemos centrado, al buscar la EDAR son:

- a. Gran cantidad de fangos
- b. Decantador primario grande
- c. Alto porcentaje de DBO
- d. Nitrógeno alto
- e. Fangos activos

La EDAR de Castell- Platja d'Aro, contiene todos los informes desde 2004 a 2016, proporcionándonos toda la información: potencia que ha consumido cada año, cantidad de fangos, cantidad de DQO, nitrógeno, ect. Adjuntamos a continuación, las cantidades obtenidas en 2016, bastantes buenas y adecuadas para nuestro proyecto:

	Unitats	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
Entrada													
DBO ₅	mg/l	269	301	235	269	219	272	255	312	198	170	148	186
DQO	mg/l	566	615	624	672	447	444	553	562	423	547	361	476
MES	mg/l	269	265	299	213	292	231	221	273	162	256	245	212
pH		7,6	7,5	7,6	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Conductivitat	uS/cm	1.274	1.239	1.199	1.201	1.220	1.266	1.461	1.396	1.249	1.220	1.253	2.315
Nitrogen total	mg N/l	66,0	58,0	64,0	64,0	59,0	62,0	72,0	69,0	54,0	54,0	54,0	54,0
Fòsfor total	mg P/l	5,1	5,4	8,4	7,0	6,0	7,0	12,0	8,0	7,0	7,0	5,0	5,0
Sortida													
DBO ₅	mg/l	10	8	11	9	13	9	12	12	12	9	7	8
DQO	mg/l	63	51	67	67	79	50	48	56	50	42	56	50
MES	mg/l	9	8	9	12	13	10	12	13	11	8	7	6
pH		7,6	7,6	7,6	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Conductivitat	uS/cm	1.252	1.089	1.207	1.214	1.067	1.309	1.381	1.386	1.203	1.194	1.201	4.394
Nitrogen total	mg N/l	41,8	41,0	46,7	41,0	38,0	45,0	46,0	49,0	45,0	38,0	41,0	33,0
Fòsfor total	mg P/l	3,3	2,9	4,1	3,0	2,0	3,0	6,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0
Rendiments													
DBO ₅	%	96	97	95	97	94	97	95	96	94	95	96	96
DQO	%	89	92	89	90	82	89	91	90	88	92	84	89
MES	%	97	97	97	94	96	96	95	95	93	97	97	97
Nitrogen total	%	37	29	27	35	34	26	36	28	16	29	24	38
Fòsfor total	%	35	46	51	46	59	53	50	65	43	53	44	38

Fig *. Tabla mensual de los datos de entrada, salida y rendimientos en el año 2016. Fuente: Consordi Costa Brava.

Podemos destacar, la gran cantidad obtenida en ese año de DBO:

-269 mg/l

-Rendimiento: 96 %

Además del alto porcentaje de nitrógeno total (37%)

Del año 2005, el cual ha ido mejorando las cantidades a lo largo del año:

	Unitats	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
Entrada													
DBO ₅	mg/l	141	108	191	254	248	286	280	390	131	73	206	147
DQO	mg/l	403	203	501	602	668	847	627	767	271	240	603	214
MES	mg/l	200	152	364	349	419	362	333	479	180	187	337	131
pH		7,5	7,8	7,5	7,4	7,5	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,6	7,5
Conductivitat	dS/m	1,5	1,4	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
Nitrogen total	mg N/l	45,0	24,0	44,0	50,0	59,0	73,0	69,0	113,0	29,0	31,0	30,0	25,0
Fòsfor total	mg P/l	12,1	4,3	7,8	8,4	11,2	12,2	12,1	27,6	8,0	8,4	7,0	3,6
Sortida													
DBO ₅	mg/l	5	5	5	6	7	8	10	10	6	5	4	5
DQO	mg/l	38	50	45	57	55	54	66	61	58	30	38	52
MES	mg/l	6	8	5	7	11	12	13	14	7	5	4	6
pH		7,5	7,6	7,5	7,6	7,7	7,6	7,7	7,7	7,8	7,6	7,5	7,6
Conductivitat	dS/m	1,4	1,3	1,9	1,3	1,3	1,4	1,5	1,4	1,4	1,2	1,1	1,7
Nitrogen total	mg N/l	22,7	19,0	26,8	27,4	31,8	37,9	45,7	46,8	34,2	18,8	8,6	23,0
Fòsfor total	mg P/l	8,3	4,9	6,5	6,9	6,3	5,9	5,6	5,3	6,0	5,4	2,6	2,6
Rendiments													
DBO ₅	%	97	95	98	98	97	97	96	97	96	94	98	97
DQO	%	91	75	91	91	92	94	90	92	79	87	94	76
MES	%	97	95	99	98	97	97	96	97	96	98	99	96
Nitrogen total	%	50	21	39	45	46	48	34	59	15	39	71	10
Fòsfor total	%	31	0	17	18	44	52	54	81	25	36	63	28

Fig *. Tabla mensual de los datos de entrada, salida y rendimientos en el año 2005. Fuente: *Consordi Costa Brava*.

- ESTUDIO DEL BALANCE DE POTENCIA ENERGÉTICA DE LA EDAR.

Realizaremos los cálculos necesarios para la obtención de la potencia generada que se necesitará el año previsto. Tendremos unos datos de partida de la EDAR, con los cuales intentaremos conseguir una cantidad suficiente de metano, en la reacción química.

La tendencia del sector es, por un lado, implementar medidas que reduzcan el consumo mediante medidas de eficiencia energética y por otro, maximizar el aprovechamiento energético de las aguas residuales. Ambas estrategias, que tienen una gran perspectiva de desarrollo, son complementarias y deben abordarse simultáneamente para alcanzar ahorros energéticos relevantes o incluso un balance energético neutro.

- ESTUDIO DEL BIOGÁS APROVECHABLE.

La alta concentración de metano en el biogás hace que sea muy interesante su aprovechamiento energético, aunque su uso depende en general del volumen de producción de biogás y del tamaño de la EDAR. Entre los distintos usos se encuentra:

- Combustión directa en calderas: en depuradoras pequeñas, el biogás se emplea para mantener la temperatura en los reactores aerobios.
- Generación de electricidad y calor mediante sistemas de cogeneración (CHP) con motores de combustión o turbinas de gas: en plantas medianas y grandes es económicamente rentable emplear el biogás para producir electricidad además de energía térmica para autoabastecimiento o venta a la red.
- Aplicación en pilas de combustible, inyección en la red de gas natural, utilización como combustible para vehículos.

Dependiendo de la aplicación, se requerirá algún tipo de tratamiento o purificación del biogás, como la eliminación de partículas, ácido sulfhídrico (SH₂), CO₂ o agua. Los requerimientos de calidad son superiores en las nuevas aplicaciones de pilas de combustible o combustible en automoción.

Se realizará un balance aproximado, teniendo como dato años anteriores, de la cantidad de biogás que se podrá generar. Se estudiará su rentabilidad económica en función del metano generable y de las posibles ayudas por parte del estado.

-ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE CUBRIR LA DEMANDA DE POTENCIA CON BIOGÁS.

A partir de todo lo calculado anteriormente, se tratará aprovechar los residuos como materia prima para obtener energía eléctrica, comenzado por la llegada de las aguas residuales a la planta, el proceso de separación de aguas y lodos, la metanización de los residuos en los digestores, y por último el rendimiento del biogás como combustible en los motores.

Una vez conocida la potencia que necesitamos generar, estudiaremos el uso para aplicarla y las necesidades que se puedan cubrir, así como el equipamiento de requerido para poder satisfacerlas. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo primordial es cubrir el máximo posible del consumo de la planta, lo cual abarca una gran cantidad de elementos a tener en cuenta. También estudiaremos conectarnos a la red mediante transformadores para suministrar energía, en función del estado del mercado eléctrico.

4. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE COSTA BRAVA

4.1 ANTECEDENTES

El Consorcio de la Costa Brava es una administración pública creada en 1971 con personalidad jurídica propia y formada por la Diputación de Girona y los 27 ayuntamientos del litoral gerundense. El objetivo fundacional principal del Consorcio fue dar respuesta al entonces incipiente problemática de la gestión de los recursos hidráulicos del país y a la preservación de la calidad de las aguas, especialmente las de baño, dada la creciente importancia del turismo como principal actividad económica.

El funcionamiento del Consorcio se regula por sus estatutos y, subsidiariamente, por toda la legislación referida a las corporaciones locales. Sus objetivos principales hacen siempre referencia al ciclo del agua, tanto para el abastecimiento en alta como para el saneamiento. Por este motivo, promueve estudios, redacta proyectos, ejecuta obras y gestiona instalaciones en el ámbito territorial de los municipios del litoral gerundense, actividades que se realizan por delegación de las entidades locales corporativas.

Desde el año 1993, el Plan de saneamiento de la Costa Brava se ha integrado en el Plan de saneamiento de Cataluña, y el Consorcio ha pasado a ser Administración actuante de la Agencia Catalana del Agua del Departamento de Medio Ambiente de la Generalidad de Cataluña, en el territorio definido por el conjunto de los 27 municipios consorciados.

4.2 SITUACIÓN, PARCELA

En estas instalaciones es donde se ubica el presente proyecto de Estación Depuradora de Aguas Residuales de l'Agua.



Fig 29. Fotografía de la EDAR Castell d'Aro. Fuente: Consordi Costa Brava.

Municipios asistidos:

CASTELL-PLATJA D'ARO (Castell d'Aro; Gramola, la; Mas Sais; Playa de Aro; Residencia, la; St.Pol); SANT FELIU DE GUÍXOLS (Baterías, las; Mas Trempat, el; Pol. Ind . Bujons; Puntabrava; St.Amanç; St.Feliu de Guíxols; Vilar d'Aro, el); SANTA CRISTINA DE ARO (Bell- sitio I (Urbanización); Benlloch II (Urbanización); Iglesia; Golf Costa Brava , el; Mas Trempat, el; Roca de Malvet, la; Sta.Cristina de Aro; Teulera, la; Tejas, las) Urbanización Rosamar.

4.3 DECRIPCIÓN DE LA EDAR

Para evitar que el medio ambiente absorba todos los residuos orgánicos provocados por la actividad humana, se deberán tratar estos residuos ayudando así a la protección del medio.

Es aquí cuando se incorpora un método para tratar los residuos orgánicos; la EDAR. Planta de depuración de aguas residuales cuya función es recoger las aguas de la población o industria, reduciendo la contaminación a partir de diversos tratamientos y procesos.

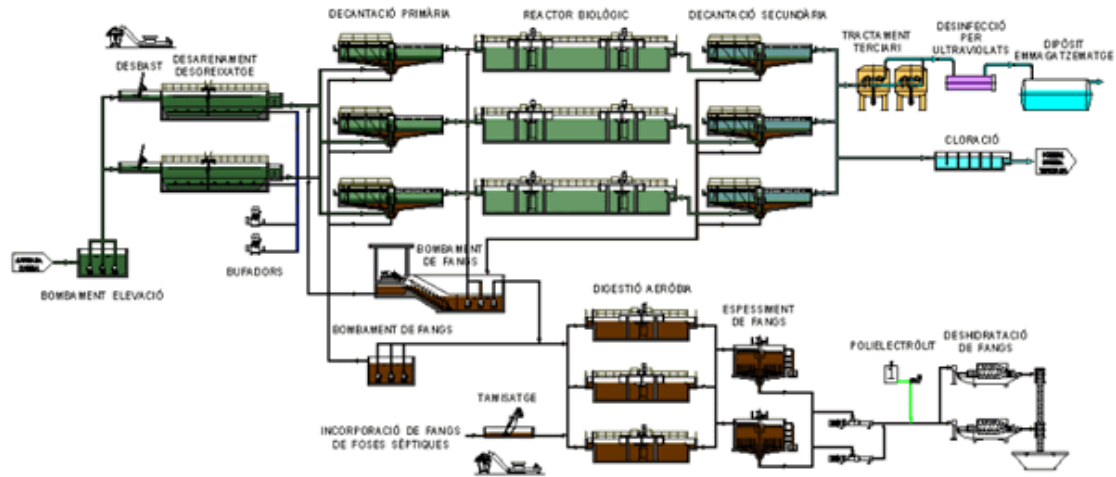


Fig 30. Diagrama de la EDAR de Castell-Platja d'Aro. Fuente: Consorci Costa Brava.

La administración actual de la EDAR de Castell d'Aro es Consorci Costa Brava, cuya empresa explotadora es Empresa Mixta de Aguas de la Costa Brava, SA. El proyecto comienza en 1983 y el año de ampliación está por marcar. El punto de vertido es Río Riadura y el mar.

DATOS DE	DISEÑO	DATOS DE	PROCESO
Tipo de tratamiento	Biológico con terciario	Nº de líneas de pretratamiento	2
Caudal diseño (m3/día)	35.000	Primario	Decantador primario
población equivalente (h-e)	175.000	Secundario	Fangos activados: media carga
DQO diseño (mg/l)	380	Espesamiento	gravedad
MES diseño (mg/l)	450	Deshidratación	centrífuga

Fig 31. Datos de diseño y datos de proceso de la EDAR de Castell d'Aro. Fuente: Elaboración propia

Aquí nos centraremos en el esquema de tratamiento de una EDAR como la nuestra, con un reactor aerobio.

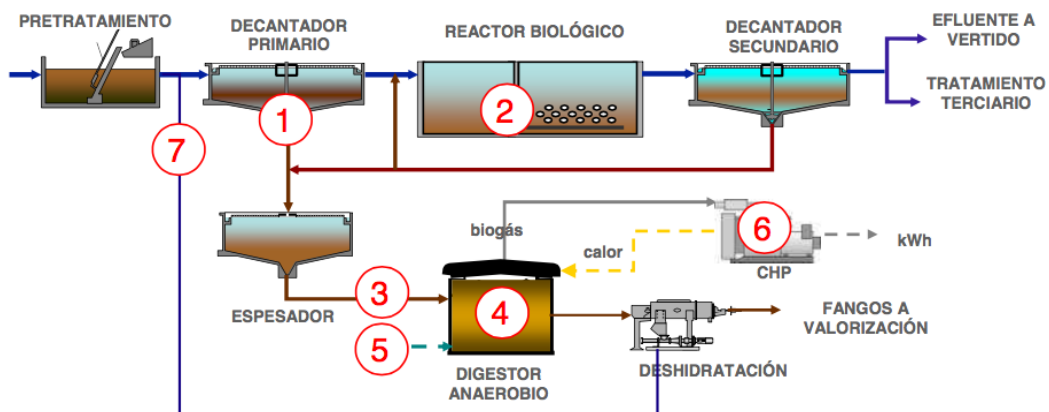


Fig 32. Esquema de tratamiento de una EDAR. Fuente: Google imágenes.

Como podemos apreciar, las partes que la constituyen son las siguientes:

- Decantador primario.
- Operación del reactor biológico.
- Pretratamiento previo al digestor anaerobio.
- Operación avanzada del reactor anaerobio.
- Codigestión.
- Sistemas de aprovechamiento de biogás.
- Nuevos procesos de tratamiento de aguas de retorno: es una medida complementaria a determinadas estrategias de maximización de producción de biogás en el digestor, que tienen como consecuencia un aumento de nutrientes a cabecera de la EDAR.

La depuración de aguas residuales es producida mediante un conjunto de mecanismos de las estaciones depuradoras que realizan procesos físicos, químicos y biológicos, consiguiendo una concentración adecuada de los contaminantes que aparecen en el agua residual, eliminando estos, devolviendo al receptor agua con las mínimas alteraciones

Este proceso requiere equipos mecánicos, los cuales consumen energía y necesitan personal para su mantenimiento y funcionamiento .

La función principal de una EDAR es tratar las aguas residuales. Existen varios tipos de aguas residuales dependiendo de su procedencia.

Siguiendo el Manual de Depuración Uralita las aguas residuales se pueden dividir en:

- **Aguas pluviales:** agua de lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies
- **Aguas blancas:** agua sin filtrar que proviene directamente de las tuberías de suministro a una vivienda.
- **Aguas negras o urbanas:** cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.
- **Aguas industriales:** agua procedente de la actividad industrial.
- **Aguas agrarias:** agua procedente de la actividad ganadera o agrícola.

En una EDAR se diferencian entre 2 y 3 líneas. Hablaremos de las básicas para la EDAR: línea de agua, y línea de fangos.

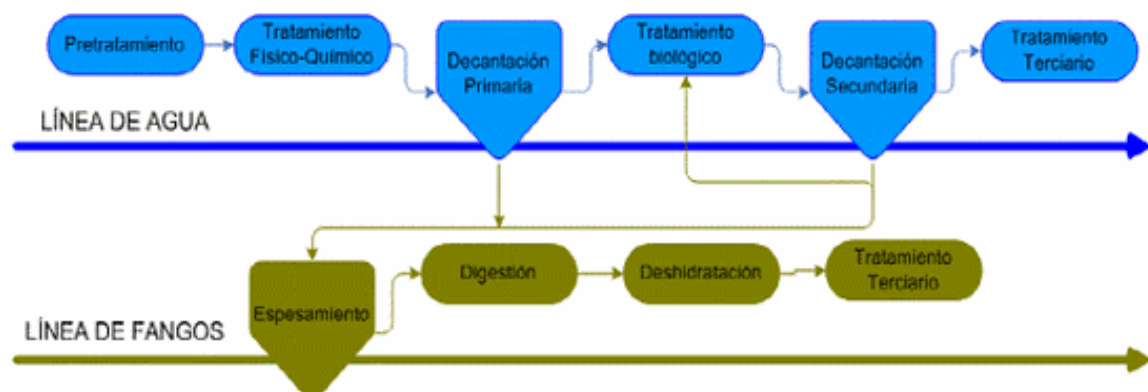


Fig 33. Pasos a seguir en la EDAR, tanto en línea de agua como en línea de fangos. Fuente: Wikipedia

4.3.1 LÍNEA DE AGUA

Los tratamientos que se realizan en la línea de agua de una EDAR se pueden clasificar según el nivel de tratamiento en:

- ☑ Pretratamiento.
- ☑ Tratamiento Primario.
- ☑ Tratamiento Secundario.
- ☑ Tratamiento Terciario.

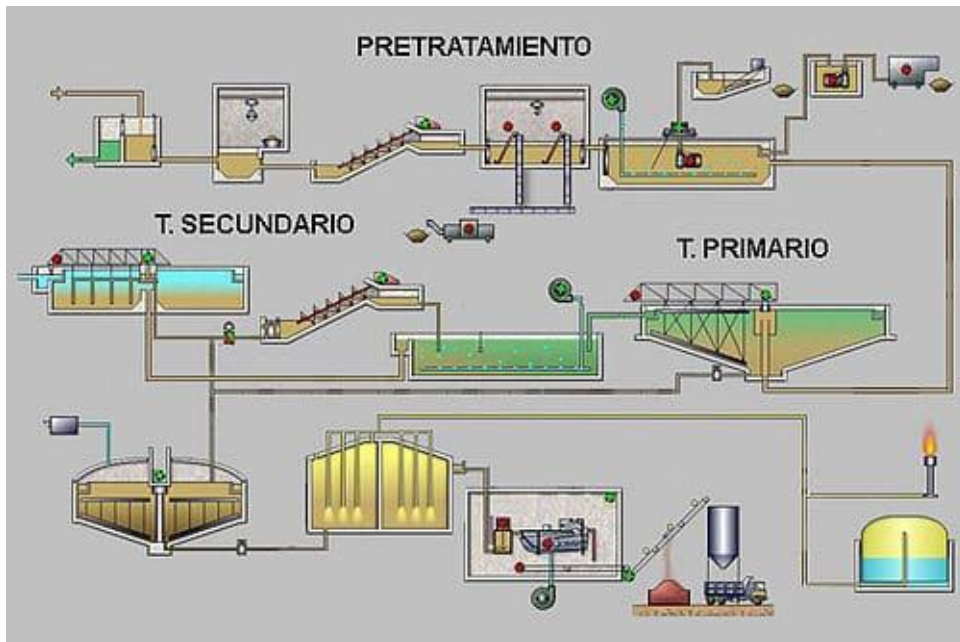


Fig 34. Esquema del tratamiento de agua residuales en una EDAR. Fuente: <https://tratamientodeaguasresiduales.net/etapas-del-tratamiento-de-aguas-residuales/>

4.3.1.1 Pretratamiento

Las operaciones de pretratamiento para una Estación depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) dependerán de:

- La procedencia del agua residual (doméstica, industrial...).
- La calidad del agua bruta a tratar (mayor o menor cantidad de grasas, arenas sólidos, etc)
- Del tipo de tratamiento posterior de la E.D.A.R.
- De la importancia de la instalación
- Etc.



Fig 35. Fotografía del pretratamiento de una EDAR procedente de iAguá.

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/depuracion-principiantes-iii-pretratamiento>

No siempre necesitaremos todas las operaciones para la instalación, por ejemplo, nunca será necesario un desbaste para un agua residual.

Los principios de este tratamiento son netamente físicos. Aquí el agua es acondicionada a través de los siguientes procesos:

- □ **Separación de gruesos**

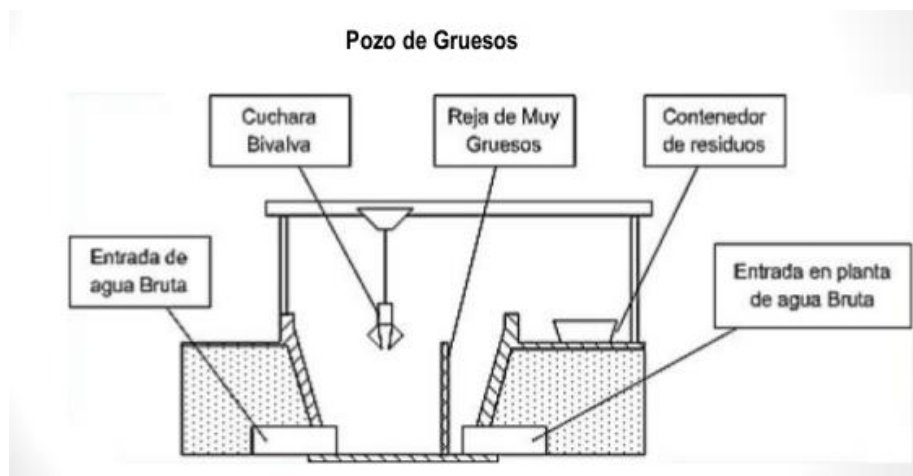


Fig 36. Conjunto del diseño de un pozo de gruesos para un pretratamiento. Fuente: Universidad Peruana Unión.

Para prevenir la presencia de sólidos de gran tamaño o cantidad de arenas en el agua a tratar, se incluye en la cabecera de la instalación, un sistema de separación de estos grandes sólidos. Esta máquina es un pozo el cual se sitúa en la entrada del colector de la depuradora, cuyo tronco es una pirámide invertida con paredes inclinadas, con el fin de concentrar los sólidos y arenas decantadas en una zona determinada, pudiendo así extraerlos con total facilidad.

La eliminación de residuos se realiza con cucharas bivalvas o anfibus con un accionamiento electrohidráulico. Los residuos conseguidos se guardan en contenedores, para ser así transportados a vertederos o se llevan a incinerar.

Los grandes sólidos deben ser retirados ya que dificultan la entrada del agua residual a la planta, limpiado además el fondo del pozo evitando que aparezca anaerobiosis (malos olores).

○ □ **Desbaste**

El agua pasa por unas rejillas finas, menor luz o separación entre barras, o tamices que retienen los sólidos de menor tamaño.

Tipos de desbaste

- Desbaste fino: con separación libre entre barros de 10-25 mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barros de 50-100 mm.
- Reja de gruesos: entre 12-25 mm.
- Reja de finos: entre 6-12 mm.
- Rejas de limpieza manual
- Rejas de limpieza automática

○ **Tamizado**

El tamizado consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores.

El tamizado es imprescindible cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos. Cuando existen vertidos industriales importantes provenientes principalmente del sector alimentario (residuos vegetales, de matadero, semillas, cáscaras de huevo, etc).

○ □ **Desarenadores.**

Este proceso consiste en el traspaso del agua a un tanque donde la arena va a sedimentar a partir de la acción de la gravedad. Con este paso, la arena es finalmente evacuada, mediante tornillo sinfín o bombas de succión.

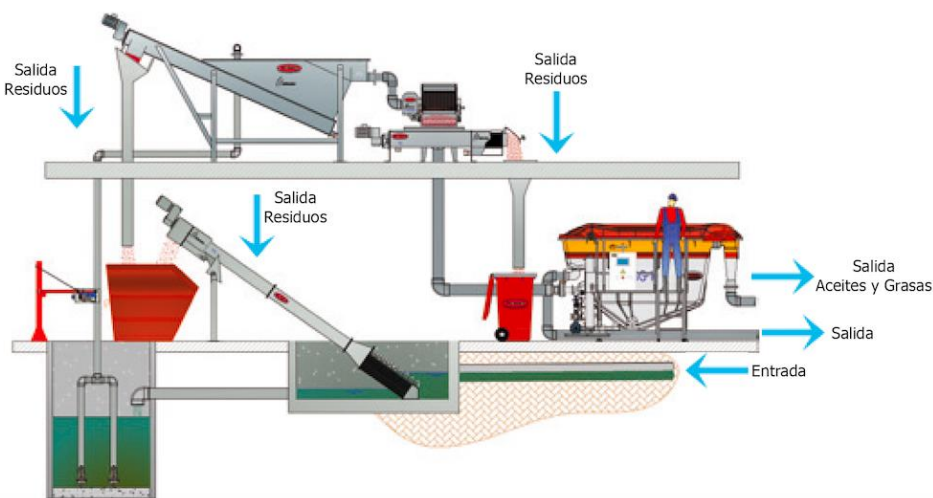


Fig 37. Funcionamiento del Desarenador Defender. Fuente: Toro equipment.

El objetivo primordial de este tratamiento es la eliminación de partículas de granulometría mayores a 200 micras. Con ello, evitamos la aparición de sedimentos en conducciones y canales que puedan causar daños a las bombas y otros equipos.

○ **Desengrasador-Desaceitador.**

Al igual que en el desarenador el agua pasa a un tanque, donde al ser mayor la sección hidráulica aumenta el tiempo de permanencia; una vez allí las grasas y aceites ascienden a la superficie (debido a que tienen menor densidad que el agua) donde son retiradas.

Cuando el desengrasador el separado del desarenado es porque se está buscando mayor calidad del agua o cuando el agua tiene su origen en determinadas industrias: mataderos (producen excesiva cantidad de grasa), petroquímicas (producen gran cantidad de aceite), etc.

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

○ **Preaireación**

El proceso tiene varios objetivos principales:

- Mejora en la tratabilidad del agua, en cuanto que esta llega séptica, contaminada, a la depuración.
- Control de olores.
- Mejora en la separación de las grasas.
- Favorecer la floculación de sólidos.
- Mantener el oxígeno en la decantación aun a bajos caudales.
- Incrementar la eliminación de DBO5.
- Evitar los depósitos en las cámaras húmedas.

4.3.1.2 Tratamiento primario

Son una serie de *procesos físico-químicos* a través de los cuales se produce la eliminación del efluente de agua residual de Sólidos en Suspensión, fosforo, metales pesados y DBO5 (esta solo parcialmente). Las operaciones realizadas en el tratamiento primario son las siguientes:

○ **Sedimentación**

Separación de sólidos más densos que el agua gracias al efecto de la gravedad.

○ **Coagulación-floculación**

Proceso para favorecer la formación de aglomeraciones de sólidos aumentando el tamaño y de esa manera mejorando la sedimentación.

○ **Ajuste del pH**

Proceso por el cual se neutraliza el agua a depurar mediante la adicción de un ácido o una base.

○ **Precipitación**

Adicción de reactivos para evitar la solubilización de algunos contaminantes presentes en el agua.

En el tratamiento primario, se elegirá para la depuradora de Castell d'Aro, un decantador primario, ya que es esencial para la producción de biogás y por tanto, para la generación de energía eléctrica.

Nuestro decantador primario, debe ser, suficientemente grande para obtención de biogás. En este proceso, eliminamos un 20% de DBO y un 50% de sólidos en suspensión encontrados en el agua residual. En esta etapa, aumentamos el rendimiento de potencia por las siguientes ventajas:

- Reduce la carga orgánica del tratamiento secundario, ahorrando así energía en la aireación.
- Reduce la cantidad de fango activo secundario, el cual puede requerir más energía para su tratamiento
- Aumenta la producción de fango primario, el cual produce de forma sencilla el doble de biogás que el fango secundario activado en un digester aerobio o anaerobio.

Varios autores afirman que el rendimiento del decantador primario es el factor con mayor influencia en la producción de biogás (Bonmatí et al., 2009, Barber, 2012). La forma más sencilla de aumentar el rendimiento de la decantación primaria es dosificar algún coagulante - sal metálica - para aumentar la eliminación de DBO y TSS hasta un 35% y 55% respectivamente (Joh Kang et al., 2009). Además, la combinación de polímeros con sales metálicas aumenta el rendimiento de la decantación primaria a la vez que se reduce la dosis necesaria de sales metálicas (Hellstedt et al.)

Sin embargo, al emplear sales metálicas se precipitará la mayor parte del fósforo (P) y una gran cantidad de DQO. Esto puede causar problemas en las etapas biológicas posteriores, ya que puede existir déficit de materia carbonosa para la desnitrificación y déficit de P para el crecimiento de microorganismos. Además, el déficit de P lleva asociado a menudo episodios de crecimiento de bacterias filamentosas (Hellstedt et al., 2010). En algunas plantas, el decantador primario se *bypasea* para disponer de más materia orgánica y nutrientes en el reactor biológico, lo que afecta directamente al rendimiento del digester y la producción de biogás (Bonmatí et al., 2009; Morenilla et al., 2010b).

4.3.1.3 *Tratamiento secundario*

Procesos biológicos cuyo objetivo principal es la eliminación de DBO₅, que es realizada mediante digestiones anaerobias, aerobias, o una combinación de ambas.

- Procesos aerobios: los microorganismos utilizan el oxígeno para degradar por oxidación la materia orgánica.
- Procesos anaerobios: la degradación de la materia orgánica se produce en ausencia del oxígeno.

4.3.1.4 Tratamiento terciario

A partir de una serie de procesos físico-químico avanzados, se eliminan metales pesados, fósforo, nitrógeno, patógenos, etc. El tratamiento terciario no se usa para todas las aguas, sobre todo se da en el caso de aguas industriales.

Una vez realizados los tres tratamientos con sus respectivos procesos, se deberá comprobar si los efluentes depurados cumplen con la calidad exigida según Dir 91/271/CEE.

Parámetros	Valor límite
Sólidos en suspensión (mg/L)	35
DBO (mg/L)	25
DQO (mg/L)	125
Fósforo total (mg/L)	2 (< 100.000 he) 1 (> 100.000 he)
Nitrógeno total (mg/L)	15 (< 100.000 he) 10 (> 100.000 he)

Fig 38. Parámetros aplicados en las Autorizaciones de Vertido a cauce. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 LÍNEA DE FANGOS

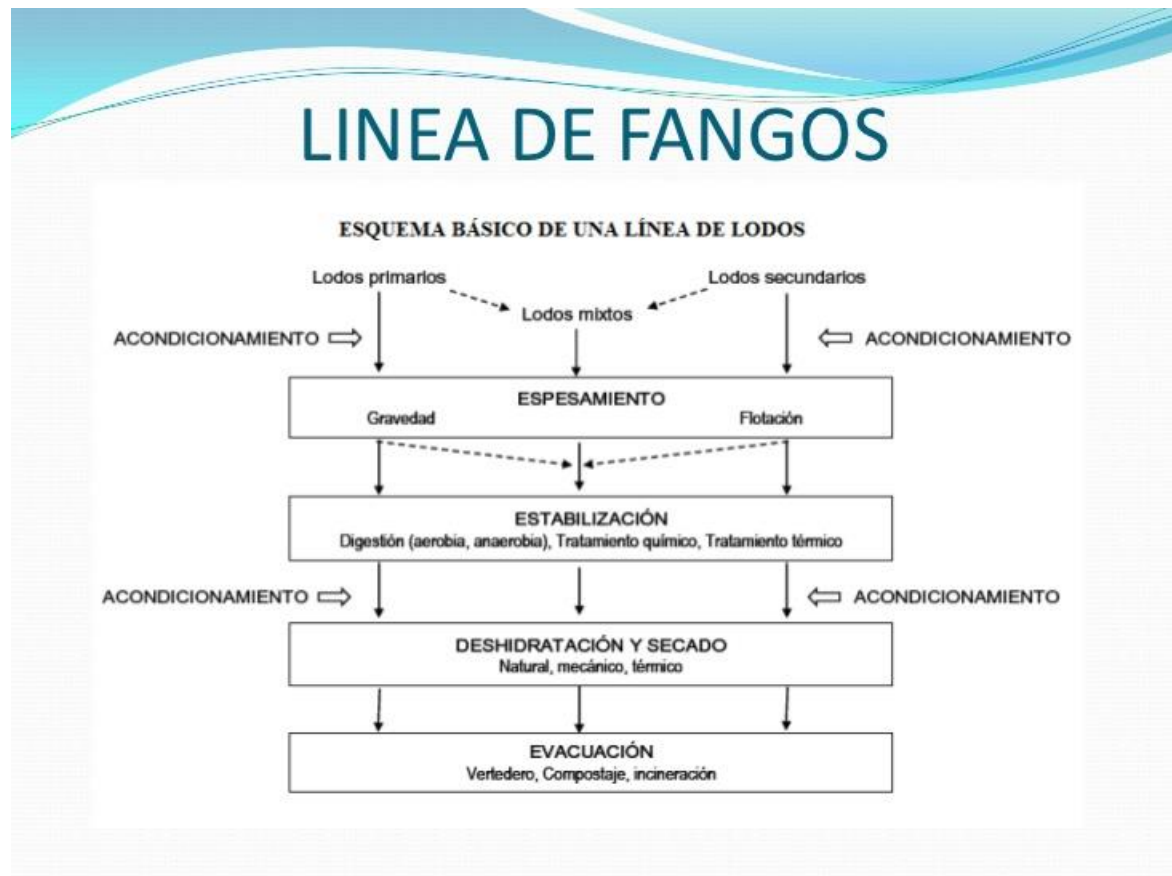


Fig 39. Esquema general de una línea de lodos primarios, mixtos y secundarios. Fuente:
<http://tratamientodefangos.blogspot.com>

Los fangos son desechos producidos a lo largo del tratamiento del agua. Se caracterizan por el alto contenido en agua y materia orgánica, siendo esta última fácilmente degradable. Sin embargo, esta materia puede provocar malos olores, por lo que el fango hay que tratarlo.

En la línea de fangos se reduce su volumen eliminando agua y se estabiliza la materia orgánica antes de que se produzca su degradación. Al final del tratamiento el fango estará en condiciones de poderse retirar de la instalación, con las adecuadas garantías sanitarias.

En esta línea, se reduce el volumen de los fangos eliminando el agua que contienen. Se estabiliza la materia orgánica antes de producirse la degradación. Una vez acabado este proceso, se conseguirán las adecuadas garantías sanitarias, retirando así los fangos de la instalación.

Las diferentes fases o etapas de la línea de fangos son:

- **Espesamiento.**

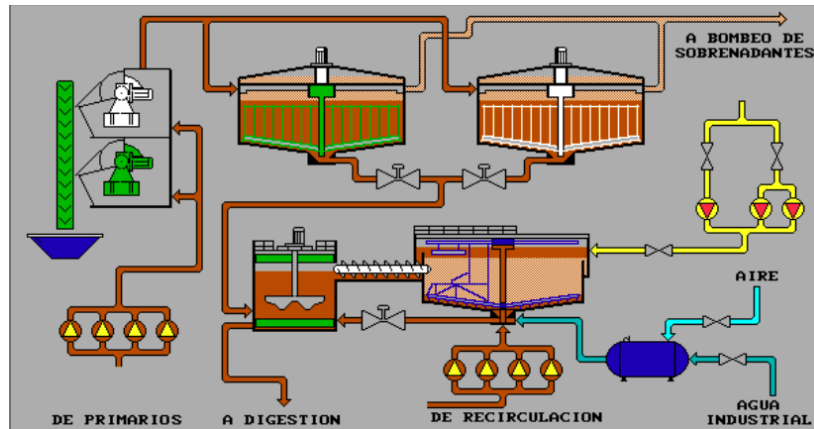


Fig 40. Representación de los procedimientos necesarios para el espesamiento del fango. Fuente: Huber technology.

Se incrementa la concentración de fango gracias a la eliminación de agua. Los tipos de espesamiento más habituales son por gravedad y por flotación (este último el más usado si los fangos tienen origen biológico).

- **Estabilización**

Aquí se reduce un gran porcentaje de materia orgánica que contiene el fango. Los métodos más habituales son la digestión anaerobia y aerobia. La primera, se desarrolla sin oxígeno y la materia orgánica se transforma en CH₄ y CO₂, produciendo metano, y más tarde, energía eléctrica.

La digestión aerobia, al contrario que la anaerobia, se basa en suministrar oxígeno al fango, de tal forma que los microorganismos al metabolizar su propia masa celular producen la oxidación de las materias biodegradables contenidas en los fangos.

En el proyecto se intentará, más adelante, cambiar la digestión aerobia por la anaerobia, o producir la combinación de ambas.

- **Deshidratación**

Consiste en la eliminación del agua que contiene el fango estabilizado, adquiriendo así consistencia sólida y se retire de la instalación posteriormente para poder llevarlo al vertedero. Los sistemas más habituales de deshidratación son las eras de secado, filtros banda, centrifugas y filtros prensa.

A veces, será necesario recurrir a los procesos de deshidratación y secado, debido a los costes de transporte y de vertedero, eliminando prácticamente todo el agua. Por ejemplo, se puede utilizar secadores térmicos.

- **Evacuación final**

La etapa final consiste en transportar los fangos al vertedero o bien son llevados a incinerar.

En el lagunaje, debido a la poca producción de fangos, estos son fácilmente manipulables, siendo no necesario tratarlos antes de la evacuación final.

El control de calidad se realiza de la siguiente forma:

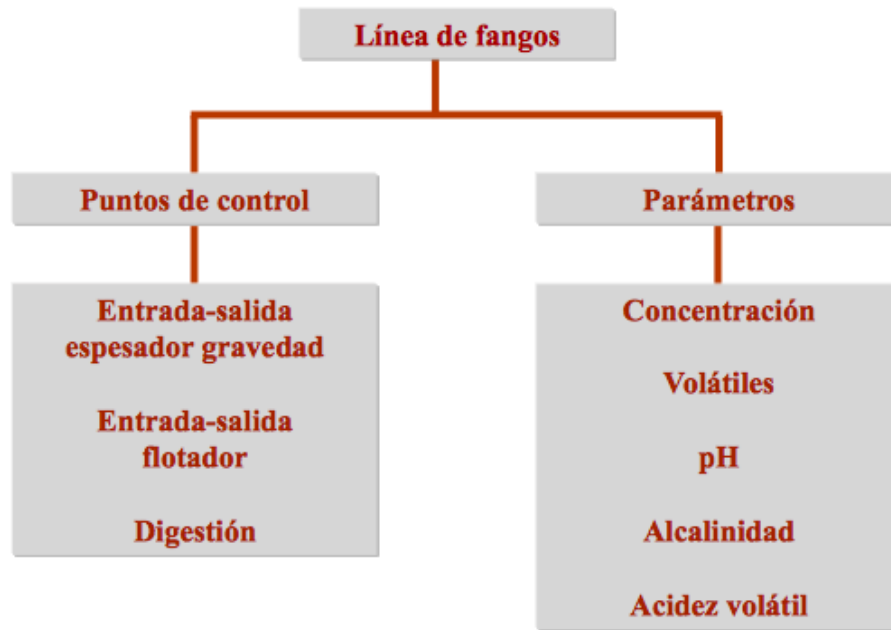


Fig 41. Esquema del proceso de evaluación final de los fangos. Fuente: Huber technology.

5. CONSUMO ENERGÉTICO DE LA DEPURADORA

Una Estación depuradora de aguas residuales (EDAR) consta, de forma general, de un pretratamiento para eliminación de grandes sólidos, grasas y arenas, un tratamiento primario para eliminación de una parte de sólidos y un tratamiento secundario para la eliminación de la materia orgánica.

Posteriormente puede existir un tratamiento adicional del efluente secundario, denominado terciario o de regeneración, con el objetivo de alcanzar una mayor calidad, principalmente cuando se va a reusar el agua. Adicionalmente, existe una línea de tratamiento de fangos con el objetivo de estabilizarlos y reducir su volumen. La digestión anaerobia es el proceso de estabilización más extendida, sobre todo en medias y grandes depuradoras. Tiene la ventaja de que se produce gas metano, fuente de energía que puede recuperarse energéticamente y llegar a abastecer el 60% de la energía consumida por la EDAR (Tejero, 2001).

La EDAR de Castell-Platja D'Aro cuenta con la información de la energía consumida por dicha depuradora, desde el año de construcción (2004) hasta 2007. A continuación, se presenta la gráfica que informa sobre el consumo energético cada año en Kw. La línea de tendencia sacada de la gráfica, junto con su ecuación lineal, sirve para realizar las predicciones en años futuros (2019,2020 y 2021).

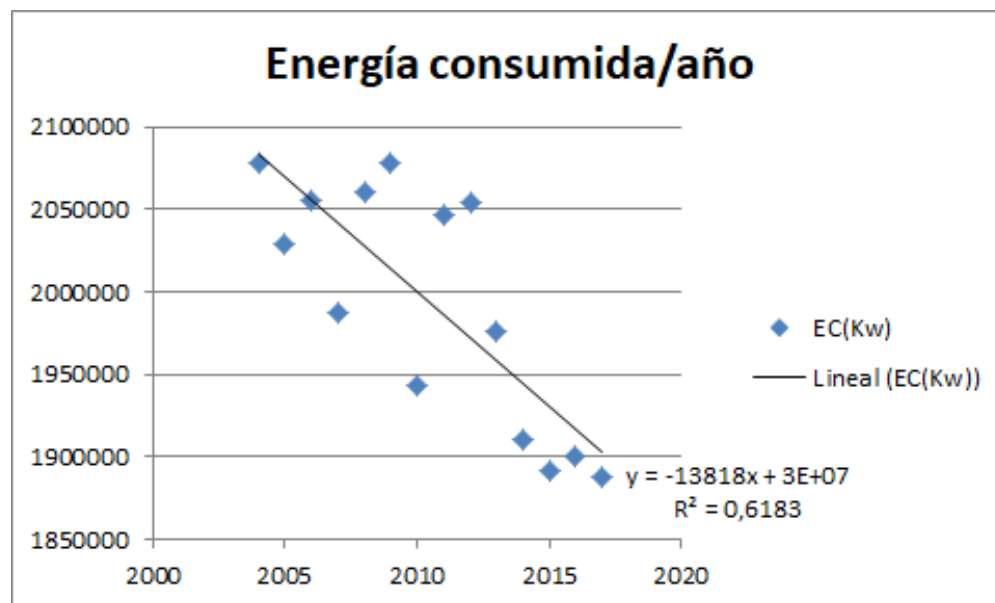


Fig 42. Gráfica del consumo energético de la EDAR. Eje y: energía consumida en Kw. Eje x: año del consumo. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la ecuación de la línea de tendencia, se construye la siguiente tabla con las predicciones en 2019,2020 y 2021 del consumo energético de la EDAR de Castell-Platja D'Aro. Se incluye además la predicción en el año 2018 (al no acaba el año, aún no se dispone de dicha información).

AÑO	CONSUMO ENERGÉTICO (Kwh)
2018	2115276
2019	2101458
2020	2087640
2021	2073822

Fig 43. Tabla del consumo energético para cada año futuro. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar, la tendencia no es del todo recta, va variando, pero asentándose siempre entre e rango de 1850000 y 2230000 kW de potencia consumida.

Una vez calculada la potencia consumida anual, se identifica qué porcentaje de la energía se va en cada elemento de la EDAR. A continuación, se reparte el porcentaje entre los principales partes que constituyen la EDAR.

PARTE DE LA EDAR	PORCENTAJE DE CONSUMO
PRETRATAMIENTO	28,60%
AGUA APORTACIÓN	3,82%
DESHIDRATACIÓN	2,63%
LÍNEA DE AGUA	61,808
REACTIVO	1,50%
CONTROL	1,34%

Fig 44. Tabla de los porcentajes repartidos del consumo de energía en las diferentes partes que constituyen a la EDAR. Fuente: Elaboración propia.

6. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA

6.1 PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

6.1.1. TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención dependerá de la temperatura a la que se encuentre el agua residual a tratar. La siguiente tabla muestra los valores en caso de medio o máximo caudal.

Temperatura de agua residual °C	Tiempo de retención hidráulica	
	Para Q _{med}	Para Q _{max}
15 a 18	≥10,0	≥7,0
18 a 22	≥8,0	≥5,5
22 a 25	≥7,0	≥4,5
mayor a 25	≥6,0	≥1,0

Fig 45 . Tabla de tiempo de retención. Fuente: WARGNER

Se estima una temperatura constante de 22 °C para el agua residual, lo que supone un tiempo de retención entre 8-9 horas.

6.1.2. VELOCIDAD ASCENSIONAL

Se considera velocidad ascensional (V_a) a la velocidad del flujo que circula:

$$V_a = \frac{Q_{max}}{S}$$

Donde los parámetros son:

Q max: Caudal máximo diario m³/d

S: Área superficial del reactor m².

Q	v (m/h)
medio	0,5 -0,7
máximo	0,9 – 1,1
pico	< 1,5*

*Los picos tendrán una duración máxima de 2-4 h por día.

Fig 46. Tabla de la velocidad ascensional según el caudal. Fuente: WAGNER

6.1.3. PRODUCCIÓN DE METANO

A continuación, explicaremos cómo se puede conseguir la producción de gases en la EDAR.

REMOCIÓN DE LA DBO

Las ecuaciones de este proceso se basan en una cinética de primer orden, donde la velocidad de eliminación del sustrato, dS/dt es directamente proporcional a su concentración, obteniendo:

$$\frac{dS}{dt} = -K S$$

Dónde

K: constante de velocidad t: tiempo de reacción

Si se expresa la velocidad por mg/l, la ecuación cambiaría de forma, donde $K=k X_v$

k: constante de remoción del sustrato

X_v : concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor.

$$\frac{dS}{dt} = -k X_v S$$

Si se habla de un tiempo igual al de residencia, en el reactor continuo, la $S=S_0$ (S_0 :concentración remanente). La ecuación que se obtiene es:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{Reac. continuo}} = -k X_v S_e$$

El balance de masas para el sustrato en el reactor se escribe:

$$\begin{array}{rclclcl} \text{Cambio del} & & \text{Incremento} & & \text{Disminución} & & \text{Disminución} \\ \text{sustrato en el} & & \text{debido al flujo} & & \text{debida al flujo} & & \text{debida a la} \\ \text{reactor} & = & \text{de entrada} & - & \text{de salida} & - & \text{reacción} \end{array}$$

En régimen permanente:

$$\begin{array}{l} \text{Cambio del} \\ \text{sustrato en el} \\ \text{reactor} \end{array} = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{Incremento} \\ \text{debido al flujo de} \\ \text{entrada} \end{array} = Q S_0$$

$$\begin{array}{l} \text{Disminución} \\ \text{debida al flujo de} \\ \text{salida} \end{array} = Q S_e$$

$$\begin{array}{l} \text{Disminución} \\ \text{debida a la} \\ \text{reacción} \end{array} = k X_v S_e V$$

A partir de esta información, se obtiene la ecuación que indica la tasa de remoción del sustrato, proporcional a la S_0 (en la ecuación se ha considerado la presencia de materia no biodegradable).

$$\frac{S_0 - S_e}{X_v t} = k (S_e - S_n)$$

A continuación, se habla de la siguiente figura. Para propósitos de diseño el valor de k , tasa de remoción del sustrato, se obtiene de la pendiente de la línea correspondiente a la etapa de fermentación del metano, como ya se mencionó anteriormente. Mientras que el valor donde la recta corta a las abcisas corresponde a la concentración de sustrato no biodegradable (S_n).

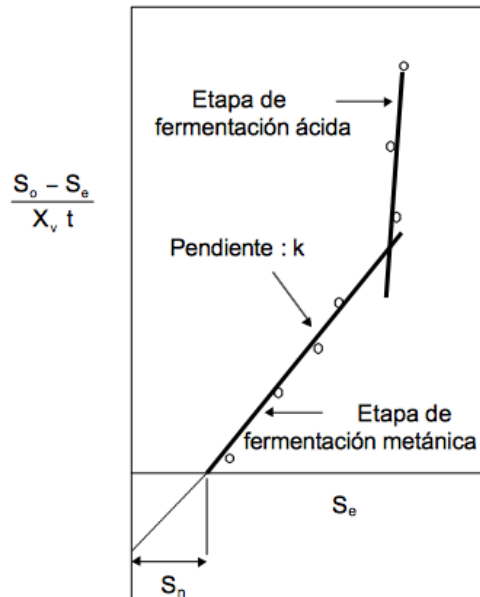


Fig 47. Determinación de los parámetros de la degradación anaerobia. Fuente: bvsde.paho.org

Considerando el reactor anaerobio descrito en la Figura 2 se tiene que $X_{v,o}$ y X_v son respectivamente las concentraciones en la entrada y en el reactor. Asumiendo condiciones de régimen estacionario y de mezcla completa, la concentración de VSS en el efluente del reactor es también igual a X_v .

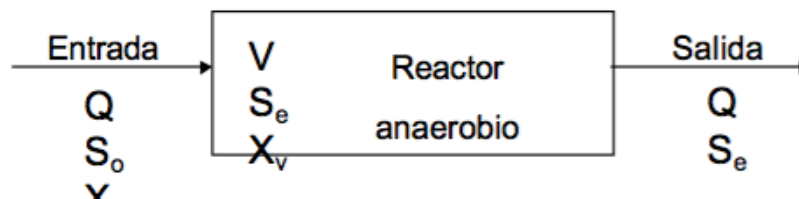


Fig 48. Balance de materia sobre los sólidos volátiles en el reactor anaerobio. Fuente:

A continuación, se explica el proceso de producción de gas. En la degradación anaerobia, los gases que se desprenden son: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), y en pequeñas cantidades sulfuro de hidrógeno (H_2S) e hidrógeno (H_2). Los científicos Lawrence y McCarthy demostraron que la producción de gas metano se puede estimar en 5,62 pies cúbicos por libra de DQO removida, en condiciones estándares de presión y temperatura, excluyendo la DQO removida la cual se transforma en células. La ecuación para calcular el gas producido es entonces

$$G = 5,62 (Q (S_o - S_e) - 1,42 Q X_v)$$

Donde las unidades de G son pies cúbicos de gas producido por día (en condiciones estándares de presión y temperatura), $Q (S_o - S_e)$ las libras de DQO removido por día, y $1,42 Q X_v$ las libras de VSS en el reactor por día. De esta forma, para obtener el gas en metros cúbicos por día, se aplican las conversiones respectivas y la ecuación anterior queda finalmente :

$$G = 5,62 (Q (S_o - S_e) - 1,42 Q X_v)$$

La eficiencia de remoción en el reactor y la concentración de sólidos a la salida (efluente), son parámetros importantes para la producción de gas.

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0.68 * t^{-0.35})$$

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0.70 * t^{-0.50})$$

E_{DQO} : eficiencia del reactor UASB en términos de remoción de DQO(%);
 E_{DBO} : eficiencia del reactor UASB en términos de remoción de DBO(%);
 t : tiempo de retención hidráulica (h).

Con los datos de eficiencia de la DBO y de la DQO se puede obtener la concentración de efluente final de la DBO y DQO:

$$S = S_0 - \frac{E * S_0}{100}$$

S : concentración de DQO o de DBO efluente (mg/L);
 S_0 : concentración de DQO o de DBO afluente (mg/L);
 E : eficiencia de remoción de DQO o de DBO(%)

6.2. CÁLCULOS DE CADA AÑO FUTURO

Se realizará el estudio para años futuros: 2019,2020, 2021.

6.2.1. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2019

DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB

DATOS DE PARTIDA

Caudal medio diario	35.000 m3/dia
Caudal medio por hora	1458,33 m3/hora
Temperatura de agua residual	22 °C
Caudal entrada UASB diario	31500 m3/dia
Caudal entrada UASB por hora	1312,5 m3/hora
Concentración DBO afluente	258,66 m/l
Concentración DQO afluente	616,15 m/l
Coefficiente de producción de sólidos	0,2
Población	175.000 hab

Para conseguir el dimensionamiento de la UASB, se realizan los siguientes cálculos enumerados a continuación:

1. Cálculo de la carga media afluyente diario

19408,725	kgDQO/d
-----------	---------

2. Tiempo de retención hidráulica (t)

8	horas
---	-------

3. Volumen total de los reactores (V)

10500	m ³
-------	----------------

4. Número de reactores (n)

2	reactores
---	-----------

5. Volumen de cada reactor (Vr)

5250	m ³
------	----------------

6. Altura del reactor (H)

10	m
----	---

7. Área de cada reactor (Ar)

525	m ²
-----	----------------

8. Área total

1050	m ²
------	----------------

9. Volumen total

10500	m ³
-------	----------------

10. TRH verificado: $T = V/Q_{med}$

8	h
---	---

11. Cargas aplicadas

-Carga hidráulica volumétrica

3	m ³ /(m ³ /d)
---	-------------------------------------

-Carga orgánica volumétrica

1,84845	kgDQO/m ³ *d
---------	-------------------------

12. Velocidades superficiales

Para Qmed por hora	0,25 m/h
Para Qmax diario	33,33 m/d
Para Qmax por hora	1,39 m/h

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para obtener el biogás se deberá realizar los siguientes cálculos enumerados a continuación.

Eficiencia de remoción de DQO	67,16 %
Eficiencia de remoción de DBO	75,25 %

3. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final

SDBO	64,02 mg/l
SDQO	202,35 mg/l

4. Producción de metano

$DQO_{CH_4} =$

$$DQO_{CH_4} = \frac{DQO_{total}}{4} \cdot f(T)$$

$$f(T) = \frac{273 + T}{273 + T_0}$$

Volumen de CH ₄	6152,798 kgDQO/d
----------------------------	------------------

DATOS DE PARTIDA

T	22°C
R	0,08206 R(atm·l)/(k·mol)
p	1 atm
KDQO	64 g DQO/mol CH ₄
f(T)	2,64 kgDQO/m ³
Volumen diario de CH ₄	3462,003 m ³ /d

VOLUMEN DE BIOGÁS

Considerando un porcentaje de metano en la EDAR de un 60 % del total de gases producidos:

Volumen de biogás diario	5570,005 m ³ /d
--------------------------	----------------------------

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

DATOS DE PARTIDA

Rendimiento turbina	30 %
PCI del metano (CH ₄)	13187 kcal/kg
Densidad CH ₄	0,67 kg/m ³
PCI biogás	5500 kcal/Nm ³
Densidad biogás 60/40	1,2 kg/m ³
Producción en termias	2,3 termias/m ³

ENERGÍA PRIMARIA	
Cantidad de biogás diarios	6924,01 kg/día
PCI biogás en kcal/kg	4583,33 kcal/kg
Energía primaria	2,83 kwh/kg

ENERGÍA ELÉCTRICA DE TURBINA DE GAS	
Energía eléctrica producida	5885,43 Kwh/día
Mwh/día	5,8854 Mwh/día
Gwh/día	0,0059 Gwh/día

ENERGÍA TÉRMICA EQUIVALENTE	13271,0120 termias/día
------------------------------------	------------------------

6.2.2. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2020.

DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB

DATOS DE PARTIDA

Caudal medio diario	35.000 m ³ /día
Caudal medio por hora	1458,33 m ³ /hora
Temperatura de agua residual	22 °C
Caudal entrada UASB diario	31500 m ³ /día
Caudal entrada UASB por hora	1312,5 m ³ /hora
Concentración DBO afluente	261,194 m/l
Concentración DQO afluente	624,446 m/l
Coefficiente de producción de sólidos	0,2
Población	175.000 hab

Para conseguir el dimensionamiento de la UASB, se realizan los siguientes cálculos enumerados a continuación:

13. Cálculo de la carga media afluente diario

19670,049	kgDQO/d
-----------	---------

14. Tiempo de retención hidráulica (t)

8	horas
---	-------

15. Volumen total de los reactores (V)

10500	m ³
-------	----------------

16. Número de reactores (r)

2	reactores
---	-----------

17. Volumen de cada reactor (Vr)

5250	m ³
------	----------------

18. Altura del reactor (H)

10	m
----	---

19. Área de cada reactor (Ar)

525	m ²
-----	----------------

20. Área total

1050	m ²
------	----------------

21. Volumen total

10500	m ³
-------	----------------

22. TRH verificado: $T = V/Q_{med}$

8	h
---	---

23. Cargas aplicadas

-Carga hidráulica volumétrica

3	m ³ /(m ³ /d)
---	-------------------------------------

-Carga orgánica volumétrica

1,84845	kgDQO/m ³ *d
---------	-------------------------

24. Velocidades superficiales

Para Qmed por hora	0,25 m/h
Para Qmax diario	33,33 m/d
Para Qmax por hora	1,39 m/h

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para obtener el biogás se deberá realizar los siguientes cálculos enumerados a continuación.

Eficiencia de remoción de DQO	67,16 %
Eficiencia de remoción de DBO	75,25 %

3. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final

SDBO	64,64 mg/l
SDQO	205,08 mg/l

4. Producción de metano

$$DQO_{CH_4} =$$

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T)$$

$$f(T) = (P * K_{d_{qo}}) / (R * (273 + T))$$

Volumen de CH ₄	9276,03413 kgDQO/d
----------------------------	--------------------

DATOS DE PARTIDA

T	22°C
R	0,08206 R(atm*1)/(k*mol)
p	1 atm
KDQO	64 g DQO/mol CH ₄
f(T)	2,64 kgDQO/m ³
Volumen diario de CH ₄	3508,6164 m ³ /d

VOLUMEN DE BIOGÁS

Considerando un porcentaje de metano en la EDAR de un 60 % del total de gases producidos:

Volumen de biogás diario	5847,694 m ³ /d
--------------------------	----------------------------

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

DATOS DE PARTIDA

Rendimiento turbina	30 %
PCI del metano (CH ₄)	13187 kcal/kg
Densidad CH ₄	0,67 kg/m ³
PCI biogás	5500 kcal/Nm ³
Densidad biogás 60/40	1,2 kg/m ³
Producción en termias	2,3 termias/m ³

ENERGÍA PRIMARIA	
Cantidad de biogás diarios	7017,23 kg/día
PCI biogás en kcal/kg	4583,33 kcal/kg
Energía primaria	2,83 kwh/kg

ENERGÍA ELÉCTRICA DE TURBINA DE GAS	
Energía eléctrica producida	5964,674 Kwh/día
Mwh/día	5,9647 Mwh/día
Gwh/día	0,0060 Gwh/día

ENERGÍA TÉRMICA EQUIVALENTE	13449,6963 termias/día
------------------------------------	------------------------

6.2.3. CÁLCULOS ESPERADOS PARA 2021 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB

DATOS DE PARTIDA

Caudal medio diario	35.000 m ³ /día
Caudal medio por hora	1458,33 m ³ /hora
Temperatura de agua residual	22 °C
Caudal entrada UASB diario	31500 m ³ /día
Caudal entrada UASB por hora	1312,5 m ³ /hora
Concentración DBO afluente	263,7237 m/l
Concentración DQO afluente	632,738 m/l
Coefficiente de producción de sólidos	0,2
Población	175.000 hab

Para conseguir el dimensionamiento de la UASB, se realizan los siguientes cálculos enumerados a continuación:

25. Cálculo de la carga media afluente diario

19931,25645	kgDQO/d
-------------	---------

26. Tiempo de retención hidráulica (t)

8	horas
---	-------

27. Volumen total de los reactores (V)

10500	m ³
-------	----------------

28. Número de reactores (r)

2	reactores
---	-----------

29. Volumen de cada reactor (Vr)

5250	m ³
------	----------------

30. Altura del reactor (H)

10	m
----	---

31. Área de cada reactor (Ar)

525	m ²
-----	----------------

32. Área total

1050	m ²
------	----------------

33. Volumen total

10500	m ³
-------	----------------

34. TRH verificado: $T = V/Q_{med}$

8	h
---	---

35. Cargas aplicadas

-Carga hidráulica volumétrica

3	m ³ /(m ³ /d)
---	-------------------------------------

-Carga orgánica volumétrica

1,89821	kgDQO/m ³ *d
---------	-------------------------

36. Velocidades superficiales

Para Qmed por hora	0,25 m/h
Para Qmax diario	33,33 m/d
Para Qmax por hora	1,39 m/h

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para obtener el biogás se deberá realizar los siguientes cálculos enumerados a continuación.

Eficiencia de remoción de DQO	67,16 %
Eficiencia de remoción de DBO	75,25 %

3. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final

SDBO	65,27 mg/l
SDQO	207,80 mg/l

4. Producción de metano

$$DQO_{CH_4} =$$

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T)$$

$$f(T) = (P * K_{d_{qo}}) / (R * (273 + T))$$

Volumen de CH ₄	9399,215 kgDQO/d
----------------------------	------------------

DATOS DE PARTIDA

T	22°C
R	0,08206 R(atm*1)/(k*mol)
p	1 atm
KDQO	64 g DQO/mol CH ₄
f(T)	2,64 kgDQO/m ³
Volumen diario de CH ₄	3555,2089 m ³ /d

VOLUMEN DE BIOGÁS

Considerando un porcentaje de metano en la EDAR de un 60 % del total de gases producidos:

Volumen de biogás diario	5925,3482 m ³ /d
--------------------------	-----------------------------

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

DATOS DE PARTIDA

Rendimiento turbina	30 %
PCI del metano (CH ₄)	13187 kcal/kg
Densidad CH ₄	0,67 kg/m ³
PCI biogás	5500 kcal/Nm ³
Densidad biogás 60/40	1,2 kg/m ³
Producción en termias	2,3 termias/m ³

ENERGÍA PRIMARIA	
Cantidad de biogás diarios	7110,42 kg/dia
PCI biogás en kcal/kg	4583,33 kcal/kg
Energía primaria	2,83 kwh/kg

ENERGÍA ELÉCTRICA DE TURBINA DE GAS	
Energía eléctrica producida	6043,882 Kwh/dia
Mwh/dia	6,0439 Mwh/dia
Gwh/dia	0,0060 Gwh/dia

ENERGÍA TÉRMICA EQUIVALENTE	13628,3009 termias/dia
------------------------------------	------------------------

7. CONCLUSIONES

Lo primero que se plantea en este proyecto, es poder pasar de digestión aerobia a digestión anaerobia. El dato más importante para llevar a cabo este cambio, es el número de población que reside en el distrito. En esta EDAR, la población es de 175.000 habitantes. La condición para conseguir digestión anaerobia es tener un máximo de 20.000 habitantes. Esta depuradora cumple con los requisitos, por lo que se puede asegurar que se consigue la suficiente producción de biogás para producir energía eléctrica.

Además de esto, con los resultados obtenidos, se comprueba que la EDAR de Castell D'Aro, cumple con las características fundamentales para conseguir una producción de biogás satisfactoria:

1. Gran cantidad de fangos. Se ha obtenido en los tres años futuros estudiados, alrededor de 6000 m3 diarios de cantidad de fangos, lo que supone una gran cifra para la futura producción de energía eléctrica.
2. Decantador primario grande. La depuradora cuenta con decantadores con suficiente espacio para la digestión de los fangos. Tienen una superficie alrededor de 108 m2 y 865 m3.
3. Alto porcentaje de DBO. Se ha realizado la evaluación de la eficiencia expresada en porcentaje de remoción de los parámetros DBO5 y Sólidos Suspendidos (SS) en el sistema de tratamiento de aguas residuales. Cada año futuro, consta de un alta cantidad de DBO, alrededor de casi 300 mg por litro.
4. Nitrógeno alto. Según los datos de la EDAR de Castell D'Aro el rendimiento en el tratamiento de la eliminación de nitrógeno es casi nulo.
5. Fangos activos. Se ha obtenido un volumen estimado suficiente en los años 2019,2020,2021, lo cual supone futura producción de biogás. Se cuenta con 31.000 m3 diarios de caudal de entrada en los reactores UASB, cifra necesaria según el Real Decreto 1310/1990 de 29 de octubre.

Se realizará el balance de potencia, entre lo generado y lo consumido por la planta de cada uno de los años (2019,2020 y 2021), comparando cada uno de ellos.

Con los cálculos obtenidos se estima que la producción de energía térmica en el año 2019 es alrededor de 13.27,01 termias diarias, lo que supone un volumen de biogás de 5570 m3 diarios. Con el paso del tiempo, estas cifras van subiendo: se estima para el año 2020 una producción de 13.449,69 termias diarias (con un volumen de biogás de 5847,7 m3 diarios) y para 2021 se conseguiría unos 13.628,3 termias diarias (con un volumen de biogás de 5925,348 m3 diarios). Con estos datos aportados, se realizará el balance de potencia, entre lo generado y lo consumido por la planta de cada uno de los años (2019,2020 y 2021), mostrado en la siguiente tabla. Se expresarán los valores en Kwh diarios, tanto el consumo como la generación.

Año futuro	Generación eléctrica (Kwh diarios)	Consumo de potencia eléctrica (Kwh diarios)
2019	5885,43	5757,42
2020	5964,67	5719,56
2021	6043,88	5681,7

Fig 48. Tabla del balance de potencia eléctrica de la EDAR en los años 2019,2010 y 2021. Fuente: Elaboración propia

Como se puede comprobar, la diferencia entre generación y consumo es pequeña, comprobando que en los tres años es capaz de conseguir un beneficio positivo, ya que genera más que lo que consume.

A continuación, se muestra el balance gráficamente, para poder realizar un estudio económico futuro.

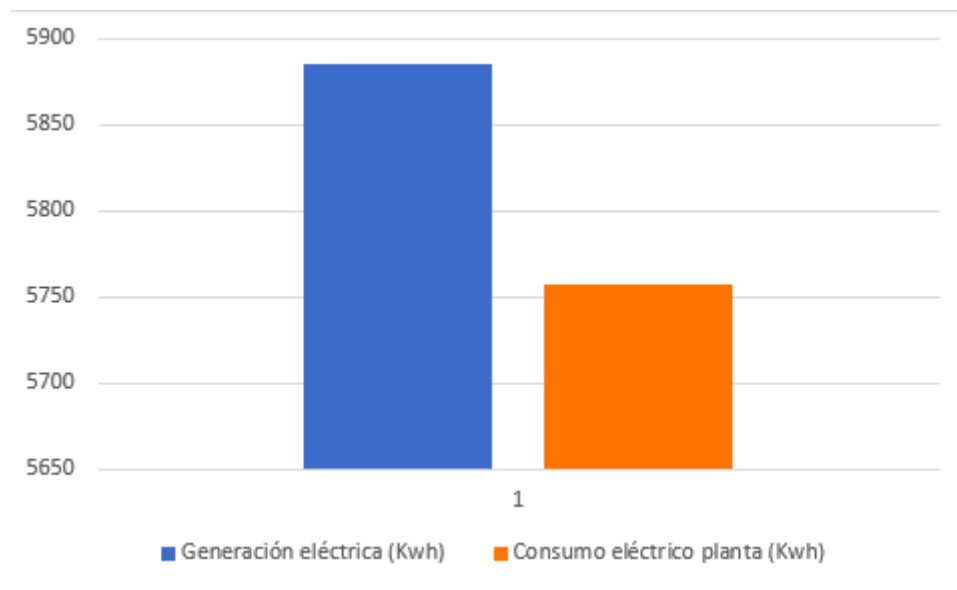


Fig 49. Histograma sobre el balance de potencia eléctrica en 2019. Unidades de energía en Kwh diarios.
Fuente: Elaboración propia.

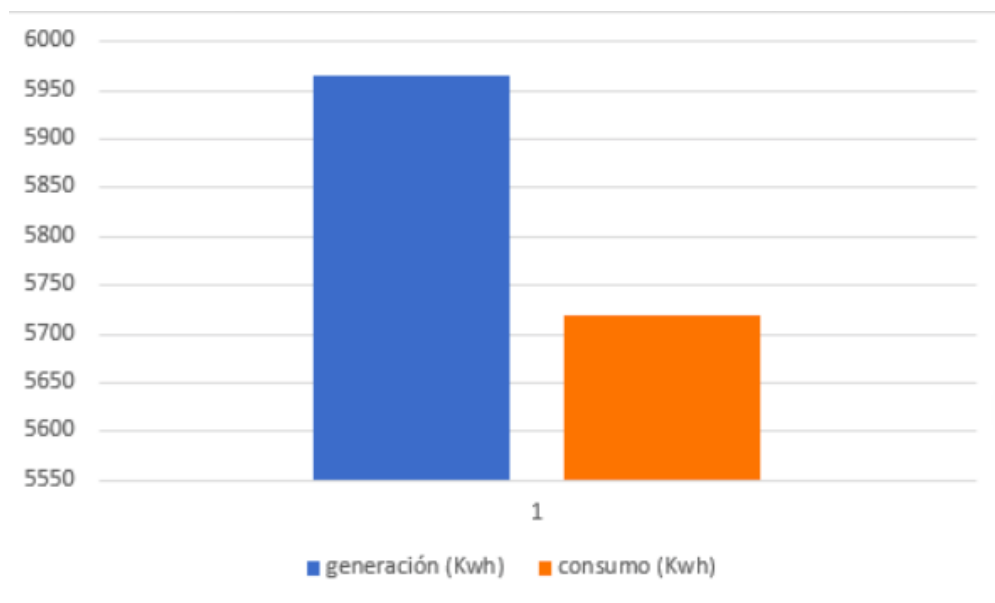


Fig 50. Histograma sobre el balance de potencia eléctrica en 2020. Unidades de energía en Kwh diarios.
Fuente: Elaboración propia.

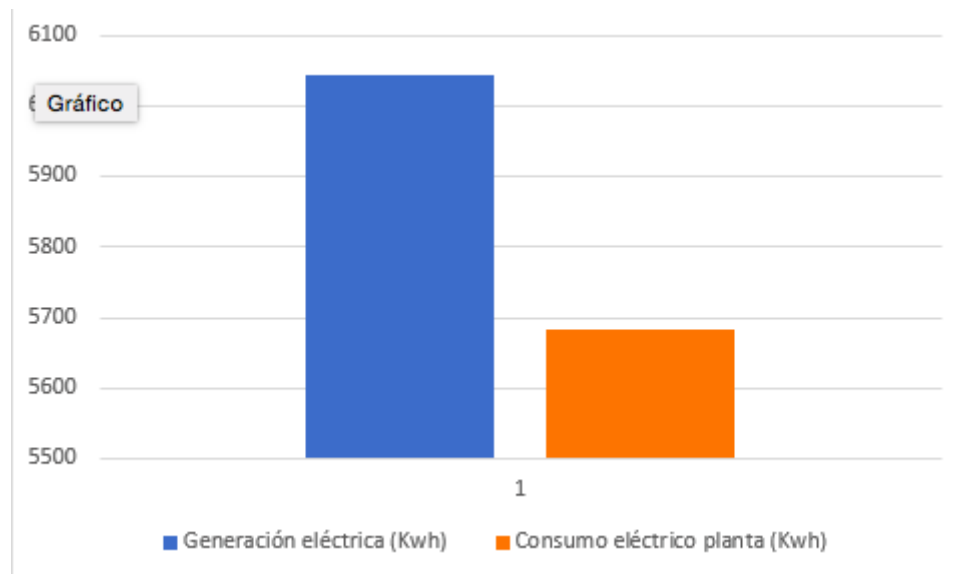


Fig 51. Histograma sobre el balance de potencia eléctrica en 2021. Unidades de energía en Kwh diarios.
Fuente: Elaboración propia.

Se realizará una gráfica del balance de potencia desde el año 2008 a 2021, para ver, que efectivamente, el rendimiento de la planta es positivo conforme pasan los años.

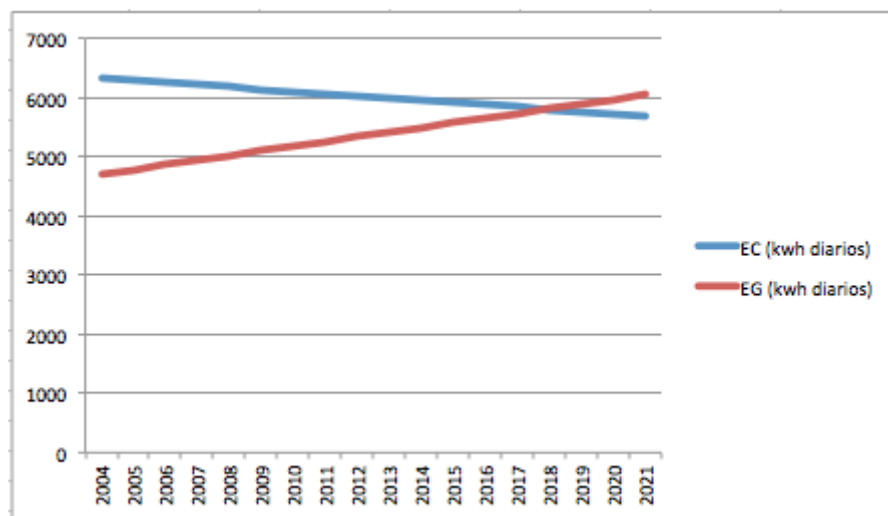


Fig 52. Gráfica de la EC (ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA) y de la EG (ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA) desde los años 2004 a 2021. Fuente: Elaboración propia.

Se calculará el beneficio económico que existe en los tres años futuros, a partir de las tarifas planas tanto de día como de noche que están registradas en España. Sabiendo de datos que la tarifa plana de día en España es de 0,0875146 €/kwh (mañana y tarde) y tarifa plana noche de 0,057654 €/kwh (considerada esta última la más barata), se procede a realizar el cálculo de cada año.

En el año 2019, se estima un beneficio de tarifa plana día de **2.726 €** y de tarifa plana noche de **897,93 €**.

En el año 2020, se estima un beneficio de tarifa plana día de **5.219,67 €** y de tarifa plana noche de **1.719,34 €**

En el año 2021, se estima un beneficio de tarifa plana día de **7.712,7 €** y de tarifa plana noche de **2.540,54 €**.

AÑO	Beneficio tarifa plana día (€)	Beneficio tarifa plana noche (€)
2019	2.726	897,93
2020	5.219,67	1.719,34
2021	7.712,7	2.540,54

Fig 52. Tabla de estimación del beneficio neto en euros de la potencia eléctrica de la EDAR en 2019, 2020 y 2021. *Fuente: Elaboración propia.*

8. BIBLIOGRAFÍA

Juana, R. I. (2005). *Proyectos de plantas de tratamientos de aguas. Aguas de Proceso, Residuales y de Refrigeración*. BELLISCO EDICIONES.

MONGE, E. G. (2016). *Integración de diferentes energías renovables en una estación depuradora de aguas residuales*. Madrid: UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS.

AQUA, EDAR CASTELL PLATJA D'ARO .Obtenido en http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/DocuWeb/depuradores/dcpa_edar_castell_platjadarro.pdf

CONSORDI COSTA BRAVA (CCB.org) <http://www.ccbgi.org/abastaments.php>

CONDORCHEM EVITECH (s.f) <https://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>

VIDA SOSTENIBLE ORG (s.f)<http://www.vidasostenible.org/informes/sistema-de-generacion-de-biogas>

CTR MEDITERRÁNEO (s.f) <http://www.ctrmediterraneo.com/noticias/la-biometanizacion-como-alternativa-para-los-rsu-residuos-solidos-urbanos/>

EXPANSIÓN (ESPAÑA) (s.f)
<http://www.expansion.com/2015/02/09/empresas/energia/1423480399.html>

ELIGE TU ENERGÍA (Por editorial) (s.f) <https://eligetuenergia.com/noticias/2016/espana-tiene-un-729-de-dependencia-energetica-frente-al-534-de-la-ue/>

LA ENERGÍA EN ESPAÑA (Gobierno de España, 2014)
<http://transparencia.gob.es/transparencia/dam/jcr:6244fdc3-a6a5-4eec-acd1-bddc598a8898/La-energia-en-Espana-2014.pdf>

ENERGIA A DEBATE (s.f) <https://www.energiaadebate.com/biodigestores-aprovechar-residuos-para-generar-energia/>

CONDORCHEM EVITECH (s.f) <https://blog.condorchem.com/biometanizacion-de-rsu-residuos-solidos-urbanos/>

BIOREACTORES BIOLÓGICOS (2013) (s.f)
<http://biorreactoresbiologicos.blogspot.com/2013/11/reactores-anaerobios-tipos-y.html>

AINIA. Instituto tecnológico de la Industria Agroalimentaria (codigestión) (s.f)https://www.ainia.es/html/sites/09/pdf/ID_biogas_%20codigestion_mayo2008.pdf

TECPA. Formación de ingenieros del medio ambiente (s.f) <http://www.tecpa.es/tratamientos-procesos-depuracion-aguas-residuales/>

AINIA. Instituto tecnológico de la Industria Agroalimentaria (digestato) (s.f)
https://www.ainia.es/html/sites/09/pdf/ID_biogas_%20digestatos_mayo2008.pdf

ODEPA. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.(s.f)
<https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/el-biogas-alternativa-energetica-emergente-2>

SLIDE SHARE. (s.f)<https://www.slideshare.net/pierluigisilvacorrea/pretratamiento-de-aguas-residuales>

Universidad de Carabobo. (2015). *SIMULACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES CON REACTORES ANAEROBIOS O BIODISCOS.*

WAGNER, D. I. (s.f.). *REACTORES ANAEROBIOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.*

ANEXOS

ANEXO 1. CONSUMO DE POTENCIA APARATOS EDAR

1. PRETRATAMIENTO

1.1 TRAFOS

CONSUMO	TRAFO 1(kWh)	TRAFO 2(kWh)	TOTAL (kWh)
Año 2019	200486,6	219531,6	420018,2
Año 2020	212351,2	192739,8	405091,1
Año 2021	197850,07	179577,95	377428,02

1.2 LÍNEA DE FANGOS

Consumo anual	línea de fangos (kWh)
Año 2019	328565,35
Año 2020	348009,5
Año 2020	324244,43

1.3 BOMBAS

Consumo anual	BOMBA 1 (kWh)	BOMBA 2 (kWh)
Año 2019	33028,4	44573,522
Año 2020	34982,9	47211,33
Año 2021	32594,03	43987,34

2. DESHIDRATACIÓN DE LOS FANGOS

CONSUMO anual	Deshidratación (kWh)
Año 2019	55268,3454
Año 2020	58539,066
Año 2021	54541,52

3. LÍNEA DE AGUA

Consumo anual	SOPLANTE T1 (kWh)	SOPLANTE T2 (kWh)	TOTAL (kWh)
---------------	-------------------	-------------------	-------------

Año 2019	649434,58	649434,58	1298869,16
Año 2020	687867,413	687867,413	1375734,83
Año 2021	640893,95	640893,95	1281787,9

4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Consumo anual	Reactivo UASB (kWh)
AÑO 2019	31521,87
AÑO 2020	33387,3
AÑO 2021	31107,33

5. APORTACIÓN DE AGUA

Consumo anual	Agua aportación (kWh)	Ultrafiltro (kWh)
Año 2019	80275,6956	4067,89
Año 2020	85026,324	5078,9
Año 2021	79220	4567,3

6. CONTROL DEL SISTEMA

Consumo anual	CONSUMO EN CONTROL (kWh)
Año 2019	34505,94036
Año 2020	36547,96
Año 2021	34052,16

ANEXO 2. LISTADO DE EQUIPOS

A. CUADRO ELÉCTRICO GENERAL

- 2 TRAFOS 600 KVA
- INTERRUPTOR DE RED 24 KV 600 A
- INTERRUPTORES DE 1000 A

B. CUADRO DE GRUPO

- TORNILLO REJAS
- GENERADOR
- BATERÍA DE CONDENSADORES
- TORNILLO DE ARQUÍMEDES

C. PRETRATAMIENTO

- DEPÓSITOS DE PULMÓN
- BOMBA APORTACIÓN FLOCULACIÓN 0,75KW
- DOSIFICADOR 0,37 KW
- BOMBEO DE CABECERA 10KW

D. CUADRO DESHIDRATACIÓN

- TRAFOS 500 KVA 20KV/380-220V

E. LÍNEA DE AGUA

- BOMBEO DE ELEVACIÓN (2,2 KW)
- DESBASTE 2 UND
- SOPLADORA 2 UND
- DESARENADO 2 UND 0.5 KW
- DECANTACIÓN PRIMARIA 3 UND
- PUENTE DECANTACIÓN PRIMARIA
- BOMBA FLOTANTE PARA DECANTACIÓN 2 UND 2.2 KW
- REACTOR BIOLÓGICO 3 UND

- DECANTACIÓN SECUNDARIA 3 UND
- DECANTADOR LAMENAR
- DECANTADOR CENTRÍFUGO HORIZONTAL
- BOMBA AGUA CALIENTE 2.2 KW
- BOMBA DE ACELERACIÓN 3 KW
- BOMBA DE AGUA SERVICIO 20 KW
- COMPUERTA DE AGUA SERVICIO 2 KW
- COMPUERTA DE ENTRADA 1 KW
- COMPUERTA BY-PASS 1 KW
- POLIPASTO 2 KW
- VALVULA DE REGULACIÓN DE AIRE 2 KW
- AGITADOR BIOLÓGICO 3KW
- VENTILADOR 3 KW

CUADRO GENERAL LINEA DE AGUA

- 1 TRAFIO 1000 KVA 20KV/380-220 V
- SECCIONADOR 2 UND

F . TRATAMIENTO TERCIARIO

- BOMBAS DE TRATAMIENTO TERCIARIO (3 KW)
- DESINFECCIÓN POR ULTRAVIOLETA
- DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO
- CLORACIÓN
- VENTILADOR DE OLOR 3 UND (30-15 KW)
- MOTORES COMPUERTAS 10 UND 1 KW
- AGITADORES 3 UND 1KW
- AGITADOR 0.5 KW
- BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE OLOR 5 KW
- MOTOR DE CENTRIFUGACIÓN PRINCIPAL 130 KW
- BOMBA DOSIFICADORA 0.5 KW
- MOTOR REDUCTOR 3 UND 0.4 KW
- AGITADOR DE MEZCLA 2UND 0.75 KW
- SOPLANTES BIOLÓGICOS 2 UND 1.6 KW
- ACELERADOR DE CORRIENTE 5KW

CLIMATIZADOR

- MOTOR DE SUELDO RADIANTE 100 W
- BOMBA DE CLIMATIZACIÓN 400 W
- EFRIADOR 12 KW
- TERMOS 2 UND 2000 W

G. LÍNEA DE FANGO

- BOMBEO DE FANGOS 2 UND 2 KW
- BOMBEO DE CIRCULACIÓN DIGESTOR 10 KW
- BOMBEO DE RECIRCULACIÓN 2 UND 2.2 KW
- COMPUERTA DE RECICULACIÓN DE FANGOS 2 KW
- PUENTE DE DECANTACIÓN
- COMPRESOR DEL DIGESTOR 2 UND 30 KW
- COMPRESOR DE GAS 20 KW
- ESPESADOR 1 UND 0.5 KW
- VENTILADOR
- INCORPORACIÓN DE FANGOS DE FOSAS SÉPTICAS
- TAMIZADOR 1 UND 1KW
- PRENSA DE RESIDUOS 0.5 KW
- DIGESTOR AEROBIO 3 UND
- AGITADOR DE HOMOGENIZACIÓN
- COMPRESOR DE DIGESTIÓN 30 KW
- ESPESADOR DE FANGOS 2 UND
- POLIELECTROLITO
- DESHIDRATACIÓN DE FANGOS 2 UND
- CENTRIFUGADORA ESPESADORA 2 UND
- CENTRIFUGADORA DE DESHIDRATACIÓN 2 UND
- DECANTADOR CENTRÍFUGA 2 KW

H. REACTIVOS UASB

- COMPUERTA PARA ALIMENTACIÓN 1 KW
- BOMBA DE AGUA BRUTA 30 KW
- BOMBA COAGULANTE 3 KW
- BOMBA DOSIFICADORA DE CLORITO 0.5 KW
- BOMBA DOSIFICADORA CLOHÍDRICO 0.5 KW
- COMPRESOR 2 KW
- BOMBA DE CARGA 1 KW

- BOMBA DE COAGULACIÓN 3 KW
- BOMBA DOSIFICADORA DE COAGULACIÓN 2 UND 0.5 KW
- BOMBA DOSIFICADORA DE ELECTROLITOS 2UND 0,2 KW
- SECADO FRIGORÍFICO 0.17 KW
- VENTILACIÓN 0.5 KW
- MEDIDOR DE TEMPERATURA Y TURBIDEZ
- RESERVA 1 KW
- BOMBA DE RECIRCULACIÓN TORRE LAVADO 0.3 KW
- CUADRO DE DOSIFICACIÓN CARBONATO 3 KW
- TALLER MECÁNICO

I. ALUMBRADO Y TOMA DE CORRIENTE

- 4 CIRCUITOS DE SALIDA PARA PROYECTORES
- CONTADOR PROYECTOR
- 1 EXTRACTOR
- IP DE MANIOBRA 5 A
- 2 CIRCUITOS DE SALIDA FAROLAS

CUADRO DE MANDO PARA ALUMBRADO

- ALUMBRADO DEL EDIFICIO 2000 W
- ALUMBRADO EMERGENCIA 100 W
- TOMA DE FUERZA 10 KW

J. CUADRO DE CONSUMIDOR

- GENERADOR DIESEL 1200 A
- BATERIA 100 KVAR
- TURBO SOPLANTE 0.5 KW
- BATERIAS 2 UND 165 KVAR
- VÁLVULA DE MANIOBRA DE EMBARRADO 0.3 KW

K. AGUA APORTACIÓN

- BOMBAS DE APORTACIÓN 2 UND
- BATERÍA
- CICLO COMBINADO

ULTRAFILTRACIÓN

- BOMBA DOSIF 0.5 KW
- BOMBA DOSIFICADORA 1 KW
- BOMBA CARGA BISULFITO 0.3 KW
- VÁLCULA DE RECIRCULACIÓN 2 KW
- PUENTE GRÚA 2 KW
- CONTROL DE BOMBA DOSIFICADORA
- RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO EN EL TANQUE

L. CUADRO DE BAJA TENSIÓN

- BATERÍA FIJA 20 KVAR
- COMPRESOR 5 KW
- SECADOR AIRE 0.05 KW
- REFRIGERADOR 0.1 KW
- PUENTE GRÚA 5 KW
- BATERÍA DE CONDENSADORES 30 KVAR
- MOTOR SALA CENTRÍFUGA PRINCIPAL 20 KW 100 A
- MOTOR SALA CENTRÍFUGA AUXILIAR 10 KW 30 A
- BOMBA DE DOSIFICACIÓN 2 UND 0.5KW 1 A
- VENTILADOR PARA OLORES 20 KW
- BOMBA DE RECIRCULACIÓN OLORES 1 KW
- BOMBA DE FANGO CENTRÍFUGA 7 KW
- TAJADOR 2 KW
- TRANSPORTADOR DE TORNILLO 5 KW 11 A
- ELECTROVÁLVULA
- VENTILADOR DE ASPIRACIÓN 1 KW 2.9 A
- VENTILADOR EXTRACCIÓN 1 KW 2.9 A

ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTOS UASB

A continuación, se explican los cálculos realizados para el dimensionamiento de los reactivos UASB

AÑO 2019

DATOS DE PARTIDA	
caudal medio diario m ³	35000
Caudal medio por hora m ³	1458,33333
temp media a residual °C	22
Caudal entrada UASB m ³ /dia	31500
Caudal entrada UASB m ³ /h	1312,5
Temperatura del agua residual °C	22
Concentraci3n DBO afluente mg/l	258,66
Concentraci3n DQO afluente mg/l	616,15
Coefficiente de producci3n de s3lidos(kgDQO lodo/kgDQOapl)	0,2
Poblaci3n:	175000
CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO	
A. Carga media afluente DQO(CO) kgDQO/d	
$COA-UASB-DQO = S0-UASB-DQO * Q_{med}$	19408,725
Por habitante kg DQO/día	110,907
B. Tiempo de retenci3n hidr3ulica (t)	
Se estima un TRH de 8 horas	
C. Determinaci3n del volumen total de los reactores (m³)	
$V = Q_{med} * t = 31500 \text{ m}^3/h * 8h$	10500 m³
D. Determinaci3n del n3mero de reactores	
$Nr = 2$	2
E. Volumen de cada reactor (m³)	
$Vr = V / Nr$	5250 m³
F. Determinaci3n de la altura del reactor (m)	
H	10 m
G. 3rea de cada reactor (m²)	
$Ar = Vr / H = 5250 \text{ m}^3 / 10 \text{ m}$	525 m²
H. Verificaci3n del 3rea, del volumen y del tiempo de retenci3n corregidos.	
3rea total corregida $At = Nr * Ar = 2 * 525 \text{ m}^2$	1050 m²
Volumen total corregido $Vt = At * H = 1050 \text{ m}^2 * 10 \text{ m}$	10500 m³
TRH corregido $t = Vt / Q_{med} = 10500 \text{ m}^3 / 1312,5 \text{ m}^3/h$	8 h

I. Verificación de las cargas hidráulica y volumétrica	
Carga hidráulica volumétrica $CHV=Q/V$ (m ³ /(m ³ /d))	3 m ³ /(m ³ /d)
Carga orgánica volumétrica $CV=Q_{med} \cdot S_{(0-UASB-DQO)}/V_i$ (kgDQO/m ³ *d)	1,8485 kgDQO/m ³ *d
J. Verificación de las velocidades superficiales	
Para $Q_{med}=v=Q_{med}/At$ (m/h)	0,25 m/h
Para $Q_{maxd}=v=Q_{maxd}/At$ (m/d)	33,33 m/d
Para $Q_{maxh}=v=Q_{maxh}/At$ (m/h)	1,39 m/h
PRODUCCION DE BIOGÁS	
K. Estimación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema	
$EDQO=100\% \cdot (1-0.68 \cdot t^{-0.35}) =$	67,16 %
L. Estimación de la eficiencia de remoción de DBO del sistema	
$EDBO=100\% \cdot (1-0.7 \cdot t^{-0.50}) =$	75,25 %
M. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final	
$S=S_0-E_f \cdot S_0/100$	
S_{DBO}	64,02 mg/l
S_{DQO}	202,35 mg/l

N. Ecuaciones para la producción de metano	
Masa en metano $DQO_{CH_4} =$	$DQO_{CH_4} = Q_{med} \cdot (S_0 - UASB - DQO - SUASB - DQO) - Y_{obs} \cdot Q_{med} \cdot S_0 - UASB - (0.600 \text{ kg DQO/m}^3 - 0.197 \text{ kg DQO/m}^3) - 0.2 \text{ kg DQO lodo/kg DQO ap} \cdot 148500 \text{ m}^3/\text{d}$
$DQO_{CH_4} =$	VOLUMEN DE CH ₄ 9152,798524 kgDQO/d
DATOS DE PARTIDA	
T(°C)	22
R(atm·l)/(k·mol)	0,08206
p(atm)	1
K_{DQO} (g DQO/mol CH ₄)	64
f(T) (kgDQO/m ³)	2,643786894
Q_{CH_4} (m ³ /d)	3462,003138

VOLUMEN DE BIOGÁS	
Porcentaje de CH ₄	0,6
Vol biogas es (m ³ /d)	5770,00523

CÁLCULO ELÉCTRICO	
rendimiento turbina: 30%	0,3
PCI CH ₄ kcal/kg	11,973
densidad CH ₄ kg/m ³	0,67
kcal a kwh (kcal/kwh)	1617,64
	5500kcal son 6,4kwh
PCI BIOGAS kcal/Nm ³	5500
densidad biogas 60/40 g/l o Kg/m ³	1,2
Prod en térmias/m ³	2,3

1. Energía primaria por kg			
kilogramos de biogás diario=	$1,2 \text{ kg/m}^3 * 26488 \text{ m}^3$	6924,01	kg diarios biogás
PCI del biogás en kcal/kg=	$5500 \text{ (kcal/m}^3 / 1,2 \text{ (kg/m}^3)$	4583,33	kcal/kg
energía primaria en kwh/kg=	$4583,33 \text{ (kcal/kg) } / 1617,64 \text{ (kcal/kwh)}$	2,83	kwh/kg
2. Energía eléctrica producida en turbina de gas			
Energía eléctrica producida (kwh/d) =	$2,83 \text{ kwh/kg} * 26488,47 \text{ kg/día} * 0,3$	5885,43102	Kwh/día
Energía en Mwh/día =		5885,4300	
Energía en Gwh/día =		5,8854	
Energía en Gwh/año =		0,0059	
3. Energía térmica equivalente			
Energía térmica equivalente térmias/día =	volumen biogás diario * 2,3 térmias/	13271,012	

AÑO 2020

DATOS DE PARTIDA	
caudal medio diario m ³	35000
Caudal medio por hora m ³	1458,33333
temp media a residual °C	22
Caudal entrada UASB m ³ /día	31500
Caudal entrada UASB m ³ /h	1312,5
Temperatura del agua residual °C	22
Concentración DBO afluente mg/l	261,194
Concentración DQO afluente mg/l	624,446
Coefficiente de producción de sólidos(kgDQOlodo/kgDQOapl)	0,2
Población:	175000
CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO	
A. Carga media afluente DQO(CO) kgDQO/d	
$COA-UASB-DQO = S0-UASB-DQO * Q_{med}$	19670,049
Por habitante kg DQO/día	112,40028
B. Tiempo de retención hidráulica (t)	
Se estima un TRH de 8 horas	

C. Determinación del volumen total de los reactores (m3)		
$V = Q_{med} \cdot t = 31500 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 8 \text{ h}$		10500 m³
D. Determinación del número de reactores		
$N_r = 2$		2
E. Volumen de cada reactor (m3)		
$V_r = V/N_r$		5250 m³
F. Determinación de la altura del reactor (m)		
H		10 m
G. Área de cada reactor (m2)		
$A_r = V_r/H = 5250 \text{ m}^3/10 \text{ m}$		525 m ²
H. Verificación del área, del volumen y del tiempo de retención corregidos.		
Área total corregida $A_t = N_r \cdot A_r = 2 \cdot 525 \text{ m}^2$		1050 m ²
Volumen total corregido $V_t = A_t \cdot H = 1050 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m}$		10500 m ³
TRH corregido $t = V/Q_{med} = 10500 \text{ m}^3/1312,5 \text{ m}^3/\text{h}$		8 h

I. Verificación de las cargas hidráulica y volumétrica		
Carga hidráulica volumétrica $CHV = Q/V$ (m ³ /(m ³ /d))		3 m³/(m³/d)
Carga orgánica volumétrica $CV = Q_{med} \cdot S_{(0-UASB-DQO)}/V_t$ (kgDQO/m ³ *d)		1,8733 kgDQO/m³*d

J. Verificación de las velocidades superficiales		
Para $Q_{med} = v = Q_{med}/A_t$ (m/h)		0,25 m/h
Para $Q_{maxd} = v = Q_{maxd}/A_t$ (m/d)		33,33 m/d
Para $Q_{maxh} = v = Q_{maxh}/A_t$ (m/h)		1,39 m/h

PRODUCCION DE BIOGÁS		
K. Estimación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema		
$EDQO = 100\% \cdot (1 - 0,68 \cdot t^{-0,35}) =$		67,16 %

L. Estimación de la eficiencia de remoción de DBO del sistema		
$EDBO = 100\% \cdot (1 - 0,7 \cdot t^{-0,50}) =$		75,25 %

M. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final		
$S = S_0 \cdot E_f \cdot S_0/100$		
S_{DBO}		64,64 mg/l
S_{DQO}		205,08 mg/l

N. Ecuaciones para la producción de metano		
Masa en metano	$DQO_{CH_4} = Q_{med} \cdot (S_0 - UASB - DQO - SUASB - DQO) \cdot Y_{obs} + Q_{med} \cdot S_0 - UASB -$	
$DQO_{CH_4} =$	$(0,600 \text{ kgDQO}/\text{m}^3 - 0,197 \text{ kgDQO}/\text{m}^3) \cdot 0,2 \text{ kgDQO}/\text{odo}/\text{kgDQOap} \cdot 148500 \text{ m}^3/\text{d}$	
VOLUMEN DE CH4		
$DQO_{CH_4} =$		9276,034127 kgDQO/d
DATOS DE PARTIDA		
T(°C)		22
R(atm*l)/(k*mol)		0,08206
p(atm)		1
K _{DQO} (g DQO/mol CH ₄)		64
f(T) (kgDQO/m ³)		2,643786894
Q _{CH₄} (m ³ /d)		3508,616427

1. Energía primaria por kg		
kilogramos de biogás diario=	$1,2 \text{ kg/m}^3 * 26488 \text{ m}^3$	7017,23 kg diarios biogás
PCI del biogás en kcal/kg=	$5500 \text{ (kcal/m}^3 / 1,2 \text{ (kg/m}^3)$	4583,33 kcal/kg
Energía primaria en kwh/kg=	$4583,33 \text{ (kcal/kg) / } 1617,64 \text{ (kcal/kwh)}$	2,83 kwh/kg
2. Energía eléctrica producida en turbina de gas		
Energía eléctrica producida (kwh/d) =	$2,83 \text{ kwh/kg} * 26488,47 \text{ kg/día} * 0,3$	5964,67395 Kwh/día
Energía en Mwh/día =		6043,8820
Energía en Gwh/día =		6,0439
Energía en Gwh/año =		0,0060
3. Energía térmica equivalente		
Energía térmica equivalente térmias/día =	volumen biogás diario * 2,3 térmias/	13449,6963

AÑO 2021

DATOS DE PARTIDA	
caudal medio diario m3	35000
Caudal medio por hora m3	1458,33333
temp media a residual °C	22
Caudal entrada UASB m3/día	31500
Caudal entrada UASB m3/h	1312,5
Temperatura del agua residual °C	22
Concentración DBO afluente mg/l	263,7237
Concentración DQO afluente mg/l	632,7383
Coefficiente de producción de sólidos (kgDQO lodo/kgDQOapl)	0,2
Población:	175000
CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO	
A. Carga media afluente DQO(CO) kgDQO/d	
$COA-UASB-DQO = S0-UASB-DQO * Q_{med}$	19931,2565
Por habitante kg DQO/día	113,892894
B. Tiempo de retención hidráulica (t)	
Se estima un TRH de 8 horas	

C. Determinación del volumen total de los reactores (m3)			
$V = Q_{med} \cdot t = 31500 \text{ m}^3 \cdot 8 \text{ h}$		10500 m³	
D. Determinación del número de reactores			
$N_r = 2$		2	
E. Volumen de cada reactor (m3)			
$V_r = V / N_r$		5250 m³	
F. Determinación de la altura del reactor (m)			
H		10 m	
G. Área de cada reactor (m2)			
$A_r = V_r / H = 5250 \text{ m}^3 / 10 \text{ m}$		525 m²	
H. Verificación del área, del volumen y del tiempo de retención corregidos.			
Área total corregida $A_t = N_r \cdot A_r = 2 \cdot 525 \text{ m}^2$		1050 m²	
Volumen total corregido $V_t = A_t \cdot H = 1050 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m}$		10500 m³	
TRH corregido $t = V / Q_{med} = 10500 \text{ m}^3 / 1312,5 \text{ m}^3/\text{h}$		8 h	
I. Verificación de las cargas hidráulica y volumétrica			
Carga hidráulica volumétrica $CHV = Q/V$ (m ³ /(m ³ /d))		3 m³/(m³/d)	
Carga orgánica volumétrica $CV = Q_{med} \cdot S_{(0-UASB-DQO)} / V_t$ (kgDQO/m ³ *d)		1,8982 kgDQO/m³*d	
J. Verificación de las velocidades superficiales			
Para $Q_{med} = v = Q_{med} / A_t$ (m/h)		0,25 m/h	
Para $Q_{maxd} = v = Q_{maxd} / A_t$ (m/d)		33,33 m/d	
Para $Q_{maxh} = v = Q_{maxh} / A_t$ (m/h)		1,39 m/h	
PRODUCCION DE BIOGÁS			
K. Estimación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema			
$EDQO = 100\% \cdot (1 - 0,68 \cdot t^{-0,35}) =$		67,16 %	
L. Estimación de la eficiencia de remoción de DBO del sistema			
$EDBO = 100\% \cdot (1 - 0,7 \cdot t^{-0,50}) =$		75,25 %	
M. Concentraciones de DQO y de DBO en el efluente final			
$S = S_0 \cdot E_f \cdot S_0 / 100$			
S_{DBO}		65,27 mg/l	
S_{DQO}		207,80 mg/l	
N. Ecuaciones para la producción de metano			
Masa en metano			
$DQO_{CH_4} =$	$DQO_{CH_4} = Q_{med} \cdot (S_0 - UASB - DQO - SUASB - DQO) \cdot Y_{obs} \cdot Q_{med} \cdot S_0 - UASB - (0,600 \text{ kgDQO/m}^3 - 0,197 \text{ kgDQO/m}^3) - 0,2 \text{ kgDQO/odo/kgDQOap} \cdot 148500 \text{ m}^3/\text{d}$		
	VOLUMEN DE CH₄		
$DQO_{CH_4} =$	9399,214767 kgDQO/d		
DATOS DE PARTIDA			
T(°C)	22		
R(atm*l)/(k*mol)	0,08206		
p(atm)	1		
K _{DQO} (g DQO/mol CH ₄)	64		
f(T) (kgDQO/m ³)	2,643786894		
Q _{CH₄} (m ³ /d)	3555,208927		

VOLUMEN DE BIOGÁS	
Porcentaje de CH4	0,6
Vol biogas es (m ³ /d)	5925,348211
CÁLCULO ELÉCTRICO	
rendimiento turbina: 30%	0,3
PCI CH4 kcal/kg	11,973
densidad CH4 kg/m ³	0,67
kcal a kwh (kcal/kwh)	1617,64
	5500kcal son 6,4kwh
PCI BIOGAS kcal/Nm3	5500
densidad biogas 60/40 g/l o Kg/m3	1,2
Prod en térmias/m ³	2,3

1. Energía primaria por kg

kilogramos de biogás diario=	$1,2 \text{ kg/m}^3 * 26488 \text{ m}^3$	7110,42 kg diarios biogás
PCI del biogás en kcal/kg=	$5500 \text{ (kcal/m}^3 / 1,2 \text{ (kg/m}^3)$	4583,33 kcal/kg
energía primaria en kwh/kg=	$4583,33 \text{ (kcal/kg) / 1617,64 \text{ (kcal/kwh)}$	2,83 kwh/kg

2. Energía eléctrica producida en turbina de gas

Energía eléctrica producida (kwh/d) =	$2,83 \text{ kwh/kg} * 26488,47 \text{ kg/día} * 0,3$	6043,88155 Kwh/día
Energía en Mwh/día =		6,04388155
Energía en Gwh/día =		0,00604388155
Energía en Gwh/año =		0,00604388155

3. Energía térmica equivalente

Energía térmica equivalente térmias/día =	volumen biogas diario * 2,3 térmias/m ³	13628,3009
---	--	-------------------