



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS EN UNA GRANJA DE MADRES DE PORCINO

Autor/es

Javier Marijuán Lahoz

Director/es

Pablo Martín Ramos
Javier García Ramos

Escuela Politécnica Superior de Huesca

2016

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra me han ayudado a realizar este Trabajo de Fin de Grado, y de forma muy especial:

A los profesores Pablo Martín Ramos y Francisco Javier García Ramos, tutores de este trabajo, por todas sus ideas, consejos, comentarios, correcciones y ayuda prestada durante su desarrollo.

A Ramón Clavero Azor, gerente y dueño de la explotación de madres sobre la cual está basado parte del proyecto, por la disponibilidad continuada a facilitarme cuanta información ha sido necesaria para la realización del mismo.

Al profesor Jesús Guillén Torres, por sus indicaciones relativas al diseño de la instalación.

Al ingeniero de la empresa Albiar, Juan Ignacio Alastruey Biarnes, por sus consejos y la documentación facilitada sobre los productos de su empresa.

A las empresas Tolmet, Emison y Biobestenergy por la colaboración que han aportado.

A mi familia, por animarme y ayudarme en todo lo necesario para realizar este Trabajo de Fin de Grado.

RESUMEN

El objetivo del Proyecto es analizar, tanto en el ámbito técnico como en el económico, la viabilidad de la implantación de un sistema para la obtención de biogás mediante el tratamiento de los purines generados por una granja de madres de porcino a través de un proceso de digestión anaerobia en un biodigestor.

En dicho proceso de digestión, se genera un biogás con la siguiente composición aproximada (si bien dependerá del sustrato): 50-70% de metano (CH_4), 30-40% de dióxido de carbono (CO_2) y $\leq 5\%$ de hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros gases. El poder calorífico de dicha mezcla es ligeramente superior a la mitad del que tiene el gas natural, por lo que puede utilizarse en motores adaptados para la producción de energía eléctrica o para la producción de calor, que serían utilizados en la calefacción de la explotación, puesto que en las explotaciones de madres hay que garantizar una temperatura constante a lo largo de todo el año.

Mediante la instalación de este sistema de digestión anaerobia no sólo se evitaría la contaminación medioambiental asociada a los purines (cuya eliminación es problemática) sino que además se obtendría un beneficio económico por el ahorro energético que conllevaría, aparte de obtener bioabono. Dicho abono cuenta con unas excelentes propiedades fertilizantes (es muy rico en nitrógeno, fósforo y potasio), no posee mal olor (a diferencia del purín fresco), no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen sustitutivo o complemento de los fertilizantes químicos. En resumen, se pasaría, por tanto, del residuo al coproducto de alto valor añadido.

El trabajo académico se ha centrado en el diseño de la instalación completa, abarcando el dimensionado del digestor, el motor a colocar, sistemas de tuberías, etc. para el caso concreto de una explotación real en funcionamiento. Dicha instalación se localiza en la zona de Barbastro, concretamente en Laluenga, y cuenta con 650 madres. Partiendo de datos reales de consumo actual, se ha buscado cubrir la totalidad de las necesidades energéticas de la granja y en caso de no llegar suplir todas las necesidades, se ha estudiado el ahorro que se puede conseguir con la implantación de este sistema, además de la reducción de la contaminación ambiental, al disminuir sensiblemente la emisión de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: biodigestor; biofertilizante; granja de madres; purín.

ABSTRACT

The aim of the project has been to analyze the feasibility, both from a technical and an economic perspective, of the implementation of a system for obtaining biogas by treating the slurry generated in a pig breeding farm through an anaerobic digestion process in a biodigester.

In this digestion process, a biogas with the following approximate composition is generated (although it will depend of the substrate): 50-70% methane (CH₄), 30-40% carbon dioxide (CO₂) and ≤5% hydrogen (H₂), hydrogen sulfide (H₂S) and other gases. The calorific value of this mixture is slightly higher than half of that of natural gas, so it can be used in engines adapted for the production of electric energy or for heat production, which would be used in the heating of the farm, provided that in pig breeding farms a constant temperature must be guaranteed throughout all the year.

The installation of this anaerobic digestion system, would not only avoid the environmental pollution associated with slurry (whose elimination is problematic), but also lead to an economic profit due to the energy saving involved, in addition to the obtaining of biofertilizer. This biofertilizer has excellent properties (it is very rich in nitrogen, phosphorus and potassium), does not smell bad (unlike fresh manure), does not pollute the soil but raises its quality, and can be deemed as a good substitute or complement of chemical fertilizers. In short, the waste would be converted into a high added value resource.

The academic work presented herein has focused on the design of the complete installation, including the sizing of the digester, the engine to be installed, the piping systems, etc. for the particular case of a real pig breeding farm currently in operation. This farm is located in the Barbastro area, specifically in Laluega, and has 650 mother pigs. On the basis of the current consumption data, we have sought to cover all the energy needs of the farm and, in case all of them could not be met, we have studied the savings that can be achieved with the implementation of this system, in addition to the reduction of environmental pollution associated to the significantly reduction in greenhouse gases emission.

Keywords: biodigester; biofertilizer; pig breeding farm; slurry.

ÍNDICE

Capítulo 1:	1
1. INTRODUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ENTORNO	3
1.2.1 Problemas planteados en la atmósfera	3
1.2.2 Problemas planteados en la salud humana y animal	5
1.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS CONVENCIONAL	5
1.4 DIGESTIÓN ANAERÓBIA	7
1.5 PARÁMETROS	8
1.5.1 Temperatura y tiempo en el digestor	8
1.5.2 Valor del pH	9
1.5.3 Agitación	9
1.5.4 Ácidos volátiles	10
1.5.5 Producción de biogás	10
1.5.6 Efluentes	10
1.6 COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAEROBIO	11
1.6.1 Reactor	11
1.6.2 Entrada del afluente	11
1.6.3 Salida del efluente	11
1.6.4 Extracción de lodos	11
1.6.5 Sistema de gas	12
1.6.6 Muestreador	15
1.6.7 Sistema de calentamiento del digestor	15
1.7 TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS	16
1.7.1 Digestor discontinuo	16
1.7.2 Digestor semi-continuo	17
1.7.3 Digestor de mezcla completa (CSRT)	19
1.7.4 Instalaciones industriales	20
1.8 PREPARACIÓN DEL PURÍN	20
1.9 ALIMENTACIÓN DEL DIGESTOR	21

Capítulo 2:	22
2. CONTENIDO DEL PROYECTO	22
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA GRANJA ESTUDIADA PARA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE BIOGAS	22
2.2 PURÍN GENERADO EN LA GRANJA	22
2.3 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA GRANJA	23
2.4 TEMPERATURAS DE PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS	27
2.5 BIOGÁS PRODUCIDO EN LA GRANJA.....	27
2.6 DIMENSIONADO	28
2.7 TEMPERATURAS MEDIAS DE LA ZONA DE INSTALACIÓN	29
2.8 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL DIGESTOR	30
2.9 INSTALACIÓN DEL DIGESTOR	32
2.9.1 Preparación de las zanjas	32
2.9.2 Instalación del digestor en las piscinas	32
2.9.3 Tuberías de entrada y salida	33
2.10 LÍNEA DE BIOGÁS.....	34
2.10.1 Válvula de seguridad	34
2.10.2 Filtro de gas	35
2.10.3 Gasómetro	35
2.11 PRIMERA CARGA DEL DIGESTOR	36
2.12 USO FINAL DEL BIOGÁS.....	36
2.13 USO DEL BIOFERTILIZANTE	36
2.14 OTRAS CONSIDERACIONES	36
2.15 ELECTRICIDAD ANUAL PRODUCIDA CON EL BIOGÁS GENERADO.....	37
2.16 PRESELECCIÓN DEL MOTOR.....	38
2.17 SELECCIÓN DEL MOTOR	43
2.18 OTROS DATOS	46

Capítulo 3:	47
3. LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS Y A LA DIGESTIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	47
3.1 MARCO LEGISLATIVO	47
3.1.1 Legislación de la Unión Europea	47
3.1.2 Legislación nacional.....	48
3.2 MATERIAS PRIMAS.....	48
3.3 REQUISITOS LEGALES Y AUTORIZACIONES NECESARIAS PARA LAS INSTALACIONES SEGÚN SU ACTIVIDAD	49
3.4 SUBVENCIÓN PARA LA GESTIÓN DE LOS PURINES	51
Capítulo 4:	54
4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	54
4.1 COSTES DE LA INSTALACIÓN DEL DIGESTOR	54
4.1.1 Depósito.....	54
4.1.2 Cubierta.....	55
4.1.3 Circuito de refrigeración del motor	55
4.1.4 Agitadores	56
4.1.5 Tubos entrada afluente y salida de efluente	57
4.1.6 Línea de biogás	57
4.1.7 Motor OEKO 45 BG.....	58
4.1.8 Coste total.....	58
4.2 ANALISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN	59
4.2.1 Caso A	59
4.2.2 Caso B	61
4.2.3 Caso C	62
Capítulo 5:	63
5. CONCLUSIONES	63
Lista de referencias y bibliografía	65
Páginas web.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Equivalencia de biogás con otras fuentes de energía.	2
Figura 1.2 Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia.	3
Figura 1.3 Esquema de una planta de biogás.	7
Figura 1.4 Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv (m^3 biogás/ m^3 dig·día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico.	9
Figura 1.5 Digestor discontinuo	16
Figura 1.6 Digestor tipo Hindú con cúpula móvil	17
Figura 1.7 Digestor tipo Chino con cúpula fija.	18
Figura 1.8 Digestor tipo Taiwán de estructura flexible.	19
Figura 1.9 Digestor de mezcla completa (CSRT).	20
Figura 2.1 Generadores explotación a estudio. Fuente: Foto tomada explotación	25
Figura 2.2 Caldera de la explotación	26
Figura 2.3 Extractores de la explotación	26
Figura 2.4 Panel humidificador y bomba correspondiente	26
Figura 2.5 Bomba agua explotación.	26
Figura 2.6 Temperaturas medias de Laluega de los últimos 2 años. Fuente: Oficina del regante	29
Figura 2.7 Vinibiodigestor Sansuy.....	31
Figura 2.8 Componentes del digestor	32
Figura 2.9 Instalación membrana impermeabilizante.	33
Figura 2.10 Diseño conceptual del digestor.	33
Figura 2.11 Quemador de Biogás.....	34
Figura 2.12 Filtro de Biogás.	35
Figura 2.13 Generador 50 GFT.	38
Figura 2.14 Generador AQL 50.	40
Figura 2.15 Generador MOPESA DE 40 KW.....	41
Figura 2.16 Generador OEKO 45 BG. Fuente:	42
Figura 4.1 Tuberías para calentar el purín.	56
Figura 4.2 Serie TBX Agitadores sumergibles inox.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Producción diaria de excrementos según el tipo de cerdo.....	22
Tabla 2.2 Calor sensible aportado por los animales	24
Tabla 2.3 Ventilación necesaria en función de la explotación y la estación del año	24
Tabla 2.4 Relación de temperatura de trabajo con tiempo en el digestor	27
Tabla 2.5 Cantidades de biogás, energía y electricidad por tonelada de excremento	28
Tabla 2.6 Cantidades de biogás y metano producidas en la granja	28
Tabla 2.7 Potencias y rendimientos del generador Filius 104.....	38
Tabla 2.8 Potencias y rendimientos del generador 50 GFT.....	40
Tabla 2.9 Potencias y rendimientos del generador AQL 50.....	41
Tabla 2.10 Potencias y rendimientos del generador MOPESA 40 kW.....	42
Tabla 2.11 Potencias y rendimientos del generador OEKO 45 BG	43
Tabla 4.1 Características agitador	56
Tabla 4.2 Análisis rentabilidad Caso A	60
Tabla 4.3 Análisis rentabilidad Caso B	61

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen enormes problemas medioambientales por la excesiva cantidad de residuos que se generan. Esto es debido a los cambios socioeconómicos y las altas concentraciones de población en núcleos urbanos, desarrollo de la industria agroalimentaria, intensificación de las explotaciones ganaderas, prácticas consumistas, etc.

Una primera clasificación de los residuos se puede realizar en función de su origen, distinguiendo los residuos:

- Procedentes del sector primario, residuos agrícolas, ganaderos y forestales.
- Los procedentes del sector secundario, residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.)
- Los procedentes del sector terciario o de servicios, constituidos por residuos sólidos urbanos (RSU) y lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (Pomares, 1998).

Este proyecto se centra en los residuos procedentes del sector primario, los cuales suponen una fuente de contaminación muy importante tanto del suelo como del agua. En concreto, los de orígenes ganaderos constituyen un importante problema ambiental.

La problemática asociada a los residuos ganaderos se debe a la progresiva separación de la explotación agrícola y ganadera, lo que supone que no existe una base territorial suficiente para aprovechar los residuos orgánicos producidos por los animales como fertilizante.

Esto hace que la concentración de los residuos supere los niveles que puede admitir el suelo. Además, del hecho anterior, junto con el aumento del censo ganadero, sobre todo el porcino, la disminución de la superficie agrícola útil, y el aumento de las dimensiones de las explotaciones ganaderas, hace equiparable el sector ganadero con la industria en cuanto a la problemática de gestión de residuos.

Por estas razones, en este proyecto se aborda la reutilización del purín de la cabaña porcina que integra la explotación objeto de estudio, aprovechando su potencial energético para producir biogás.

Para poder obtener el biogás que necesita el módulo (o módulos) de cogeneración es necesario introducir el purín en digestores para, mediante digestión anaerobia, conseguir el citado combustible. La digestión anaerobia se define de la siguiente manera:

“proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación”.

Las características del biogás son aproximadamente, dependiendo del sustrato digerido y de la tecnología utilizada, las siguientes:

- 54-70% de metano (CH_4)
- 27-45% de dióxido de carbono (CO_2)
- 1-10% de hidrógeno (H_2)
- 0,5-3% de nitrógeno (N_2)
- 0,1% sulfuro de hidrogeno (H_2S)

El poder calorífico es ligeramente superior a la mitad del que tiene el gas natural, aproximadamente. Esto se debe en gran medida al contenido de metano siendo la única parte negativa su contenido de H_2S . Además, resulta un combustible de elevado rendimiento, como se aprecia en la figura 1.1, donde podemos ver las equivalencias con otros combustibles.



Figura 1.1. Equivalencia de biogás con otras fuentes de energía. Fuente: CIEMAT. (IDAE07)

Este potencial energético que procede de las deyecciones ganaderas es el que motiva a la implantación de un sistema de cogeneración que utilice biogás como combustible para evitar contaminación. La figura 1.2 es un esquema sobre los residuos orgánicos de distintos tipos, a partir de los cuales se puede obtener finalmente calor, electricidad, fertilizantes para la agricultura y efluente depurado que, realmente, es agua.

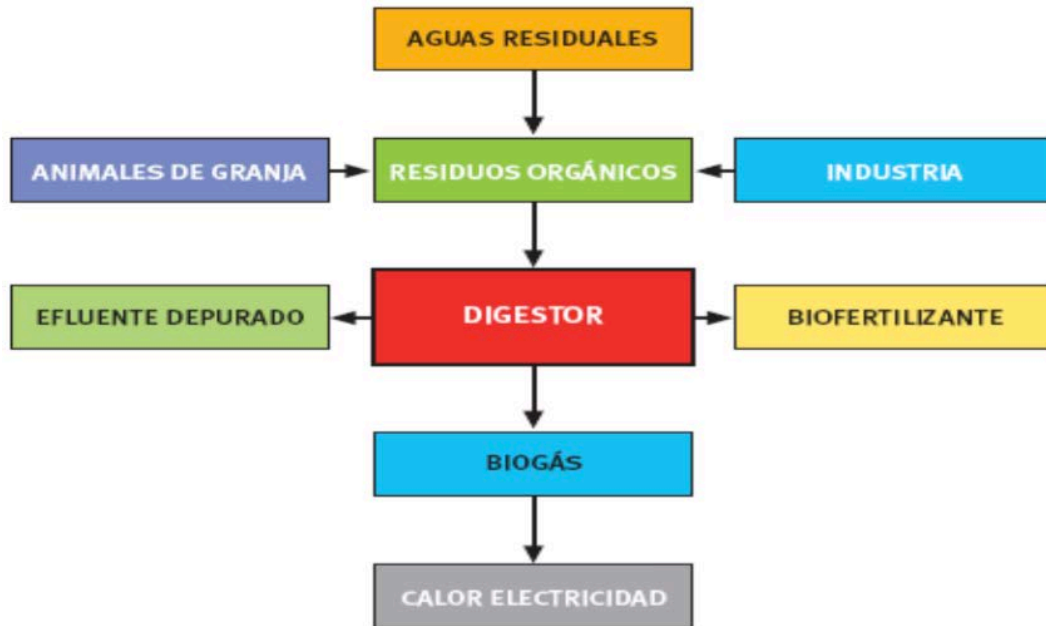


Figura 1.2. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia. Fuente: CIEMAT (IDAE07)

1.2 ENTORNO

1.2.1 Problemas planteados en la atmósfera

La atención a la problemática de las emisiones gaseosas se ha limitado y circunscrito al interior de los habitáculos del ganado, para conseguir un ambiente óptimo para el crecimiento animal, además de que sea aceptable para el trabajador. Aunque también debe tenerse en cuenta el impacto de la ganadería sobre la calidad del aire (inmisión).

Las sustancias gaseosas, originadas por las actividades ganaderas, susceptibles de alterar las características del aire son:

1. El dióxido de carbono
2. El metano
3. El amoniaco
4. Los olores

El dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas formado por la combustión de materia orgánica. El CO₂ es un gas de “efecto invernadero” ya que absorbe las radiaciones infrarrojas procedentes de la superficie de la tierra, impidiendo que el calor se elimine hacia el espacio y contribuyendo al calentamiento global del planeta. El dióxido de carbono es el responsable de aproximadamente el 50% del potencial de calentamiento de la tierra. La producción de CO₂ en ganadería, deriva principalmente de la respiración animal y de los subproductos de su metabolismo.

El metano

El metano (CH₄) se produce principalmente por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaerobias y los niveles de este gas en la atmósfera han sufrido un incremento exponencial en los últimos años. El metano expedido a la atmósfera no se acumula; una parte es reabsorbida por el suelo y la otra, de gran importancia, es oxidada en el aire. El metano interviene en diversos aspectos y reacciones de gran importancia para la atmósfera: en la troposfera participa en el calentamiento de la tierra y puede aumentar la concentración de ozono; por el contrario, en la estratosfera contribuye a la destrucción de la capa de ozono.

Además, el metano contribuye al “efecto invernadero” desde una doble vertiente; por una parte, absorbe las radiaciones infrarrojas que proceden de la superficie de la tierra evitando que se libere calor al espacio y, por otra, se oxida en la atmósfera dando lugar a monóxido de carbono (CO) que, mediante una nueva oxidación, genera dióxido de carbono, otro gas de efecto invernadero.

El amoníaco

El amoníaco (NH₃) es el más alcalino de los gases atmosféricos, lo cual le da una gran importancia en la química atmosférica y en las deposiciones ácidas. El amoníaco causa daños directos en la vegetación que se encuentra en las cercanías de las fuentes de emisión y es uno de los principales responsables de la acidificación de la atmósfera y, en consecuencia, de los suelos y de las aguas mediante deposiciones húmedas. Se combina fácilmente con compuestos ácidos. La ganadería es la principal generadora de amoníaco, pero no todas las especies participan de igual forma en el proceso. Han de tenerse presentes la talla del animal, la densidad y concentración de cabezas que permiten así la producción de amoníaco de una granja. El estiércol digerido normalmente tiene una cantidad de nitrógeno amoniacal ligeramente mayor que el no digerido. Por tanto, el almacenamiento al aire del estiércol digerido puede causar mayores emisiones de amoníaco que el almacenamiento al aire del estiércol no digerido.

Los olores

Los olores se producen, principalmente, en los procesos de degradación biológica de las sustancias contenidas en los excrementos. Si las condiciones en que se realizan estas transformaciones son anaerobias, los compuestos volátiles generados resultan más desagradables al olfato. Los gases producidos por estas

reacciones son muy diversos en cuanto a la familia química (hay orgánicos e inorgánicos) y a la cantidad formada. El olor será consecuencia de la mezcla de todos ellos y cuya composición o relación volumétrica puede alterar definitivamente la característica odorífera.

1.2.2 Problemas planteados en la salud humana y animal

En las explotaciones ganaderas tradicionales, donde se usa cama, el estiércol no produce problemas epidemiológicos especiales, ya que la paja facilita la aireación para la descomposición de la materia orgánica y las bacterias termofílicas generan calor con su metabolismo exotérmico; de este modo se alcanzan temperaturas próximas a los 60°C e incluso superiores en el estiércol compacto, resultando destruidos la mayor parte de los agentes patógenos.

En las actuales explotaciones intensivas, el estiércol es cada vez más líquido por lo que se reduce la generación espontánea de calor, y como consecuencia de ello la supervivencia de la flora microbiana, patógena o no, es mayor, conduciendo a una reconsideración del papel de este material en la epidemiología de las enfermedades animales. En este tipo de explotaciones, el alto número de cabezas de ganado por área de superficie, hace que la presencia de un único animal infectado pueda generar un contagio rápido y masivo y, además, el hecho de que se trate de poblaciones homogéneas confinadas incrementa la incidencia de infecciones latentes. Todo ello, favorece la contaminación del hábitat de la granja, en el que los residuos fecales también juegan un papel muy importante.

Otros riesgos para la salud relacionados con estiércol derivan de la producción, durante su descomposición, de dióxido de carbono, metano y amoníaco. Estos gases están relacionados con graves problemas para la salud humana, entre los que destacan la asfixia. El dióxido de carbono y el metano pueden provocar asfixia cuando se liberan en áreas cerradas o insuficientemente ventiladas, ya que desplazan al oxígeno haciendo que descienda la cantidad disponible de este gas para la respiración. Por otra parte, altas concentraciones de amoníaco producen irritación de garganta, inflamación pulmonar, daños en las vías respiratorias y en los ojos, a partir de 1.500 ppm y a medida que aumenta la concentración puede llegar a producir edema pulmonar o producir la muerte cuando supera los 5.000 ppm (CCSSO).

1.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS CONVENCIONAL

A continuación se describe el proceso en una planta para la obtención de biogás.

Los residuos líquidos biológicos a tratar son bombeados a la planta de biogás a través de una bomba o en su defecto a través de una tubería de extracción. Estos, llegan a la estación de bombeo de aguas residuales la cual se encuentra situada en un cuarto independiente.

Los residuos (en este caso de estudio, purines de cerdo) son llevados a un estanque en el cual se homogenizan a la par que son calentados progresivamente, hasta alcanzar la temperatura requerida. Los estanques o depósitos en los que se almacenan, suelen tener una capacidad de dos a tres días normalmente.

Posteriormente, la mezcla es transportada al digestor. Éstos suelen estar fabricados de hormigón muy resistente al ácido y siendo al mismo tiempo termo aislantes. En los digestores se da lugar a la actividad de los microorganismos manteniendo una temperatura constante la cual suele variar entre unos 30 °C y unos 40 °C. En el interior de los digestores, se procede a mezclar los purines.

Estos digestores, son calentados por agua a elevada temperatura. A la entrada la temperatura suele ser de unos 60 °C y a la salida, suele rondar los 40 °C. En el caso de plantas de biogás con recuperación del calor del motor, el agua que se utiliza es la de refrigeración del motor de biogás, por lo que no se necesita aporte de energía externa, excepto los días de muy bajas temperaturas, que habrá que apoyar al intercambiador con unas resistencias eléctricas.

Dicho generador suele estar a una temperatura que ronda los 90 °C la cual se suele mezclar con agua a unos 40 °C antes de entrar en el sistema del digestor, para que así reciba el agua a unos 60 °C deseados.

La biomasa se suele retener en los reactores a lo sumo entre 20 y 40 días, tiempo durante el cual, la materia orgánica es metabolizada por los microorganismos anaeróbicos presentes en la biomasa. Este proceso de fermentación es realizado por microorganismos anaeróbicos los cuales son inyectados en la planta de biogás estando ésta en marcha.

Esta inyección se puede realizar de 3 maneras diferentes:

- Inyección de microorganismos concentrados
- Añadiendo estiércol fresco
- Añadiendo inyección de biomasa de la planta de biogás en funcionamiento

Para finalizar, el biogás obtenido se almacena en un gasómetro el cual consta de 3 capas (especiales) hechas de PVC, elastómeros y polietileno, con una cúpula hecha de un material resistente a la luz solar, la cual evita que haya evaporaciones internas indeseadas.

(1m³ de biogás procedente de purines de cerdo, produce 2,3 kWh de energía eléctrica y 2,8 kWh de energía calorífica)(IDAE).

Esquema de una planta de biogás:

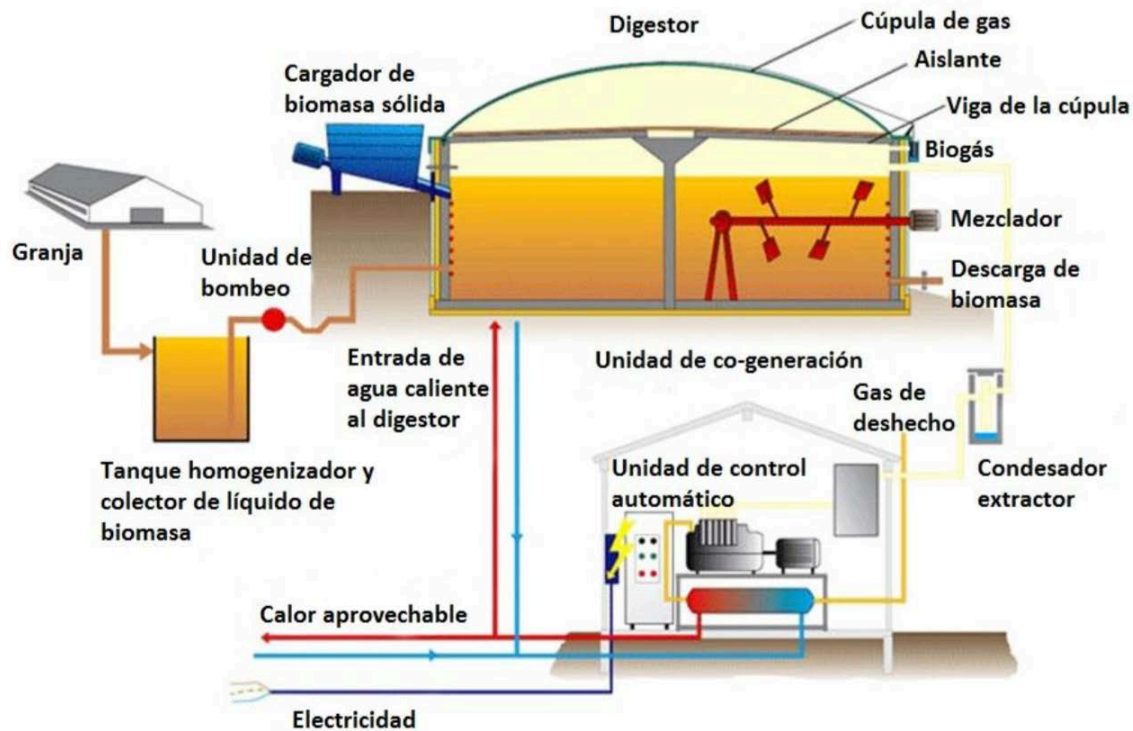


Figura 1.3 Esquema de una planta de biogás. Fuente: ABT Group

1.4 DIGESTIÓN ANAERÓBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico. Se caracteriza por la existencia de cuatro etapas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos): hidrólisis enzimática (formación de moléculas solubles), acidogénesis (formación de ácidos), acetogénesis (producción de acetato) y metanogénesis (formación de metano), las cuales se describen a continuación:

Hidrolítica

Los compuestos orgánicos complejos, como los lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son despolimerizados, por acción de enzimas hidrolíticas, en moléculas solubles y fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, etc.

Acidogénica

Los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), esto es, ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico, principalmente.

Acetogénica

Los compuestos intermedios son transformados por las bacterias acetogénicas en ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono. El metabolismo acetogénico es muy dependiente de las concentraciones de estos productos.

Metanogénica

Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono son transformados a CH₄ y CO₂. Se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que consumen hidrogeno (metanogénicas hidrogenófilas). La principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general.

1.5 PARÁMETROS

Siendo la digestión anaerobia un proceso bioquímico complejo, es necesario mantener las condiciones óptimas que permitan la realización tanto de las reacciones químicas dentro de la matriz líquida del reactor, como las reacciones bioquímicas intracelulares que dan vida a los organismos en juego.

1.5.1 Temperatura y tiempo en el digestor

La temperatura determina el tiempo de retención necesario para la digestión y degradación de la materia orgánica dentro del digestor, de modo que la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo. Puesto que la digestión es un proceso tan lento, con frecuencia es necesario aplicar calor para acelerar las reacciones bioquímicas implicadas. La mayoría de los digestores convencionales funcionan en la gama mesofílica, es decir, entre 12 y 35 °C, optimizándose el proceso entre los 29 y 33 °C. Aunque la digestión anaerobia puede ocurrir en la gama termofílica entre 37-65 °C, el óptimo se alcanza en las proximidades de los 55 °C, de tal manera que la digestión termofílica permite una permanencia menor en los tanques. No obstante, debido a su excepcional sensibilidad a los cambios de temperatura, exige un gran control y un tipo de tecnificación el cual no abordaremos en este proyecto.

Es preferible, por tanto, la digestión mesofílica, con temperatura controlada.

A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5 °C se puede decir que las bacterias se encuentran en fase latente o inactiva y ya no producen biogás. Por ello es necesario estimar el tiempo en el digestor según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es el tiempo que requieren las bacterias para

digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor.

Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención, necesario para que las bacterias con menor actividad tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

En figura 1.4 aparece la volatilidad de los diferentes componentes en función de los días en el digestor.

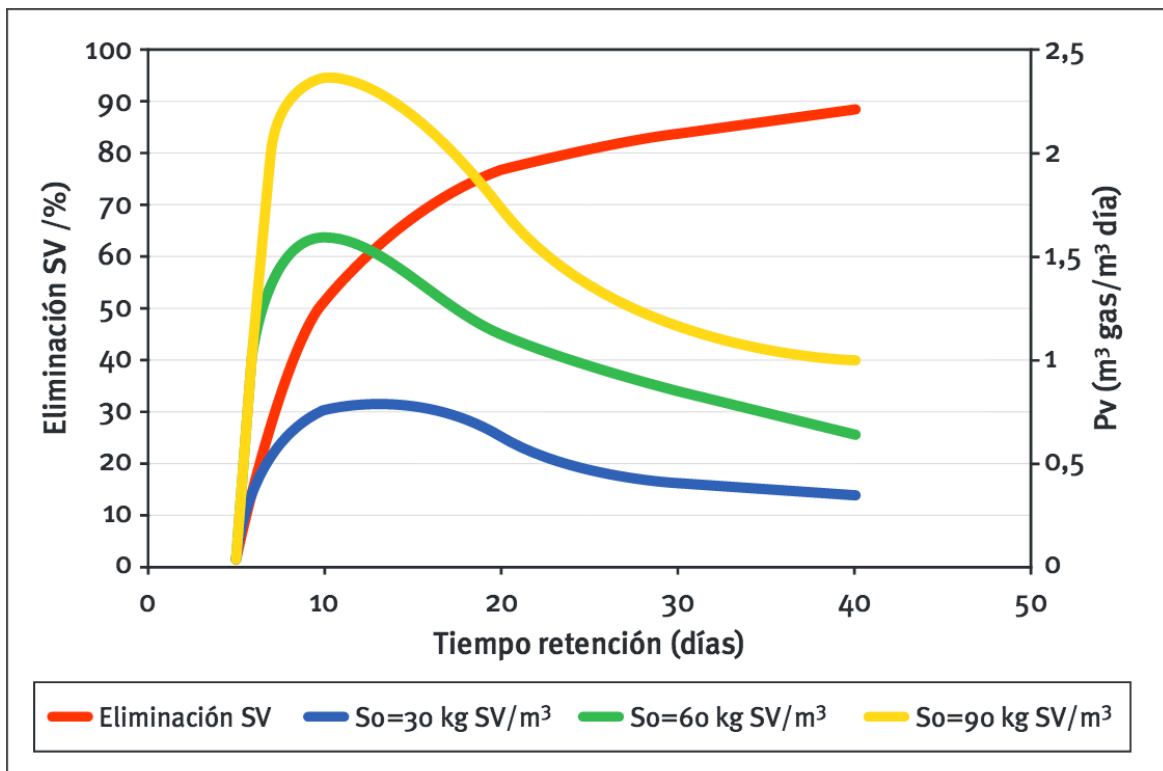


Figura 1.4 Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv (m³ biogás/m³ dig·día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: IDAE

1.5.2 Valor del pH

El pH representa el grado de acidez presente en el biodigestor y su valor óptimo oscila entre 6,6 y 7,6 (IDAE), intervalo es el adecuado para que el reactor opere correctamente. Con valores de pH por debajo de 5 y por encima de 8 se corre el riesgo de inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.

1.5.3 Agitación

Las instalaciones de digestión convencionales consistían exclusivamente en un depósito de fangos cerrado a la atmósfera. En él se producía una estratificación que de abajo hacia arriba se puede interpretar de la siguiente manera: fango

digerido, fango de digestión, sobrenadante, capa de espumas y gases de digestión.

Con los años, la evolución ingenieril del proceso condujo a la denominada digestión de alta carga, en la que el contenido del digestor es mezclado completamente de forma más o menos continua. Con ello, se consigue reducir sustancialmente el tiempo de digestión.

1.5.4 Ácidos volátiles

La concentración de ácidos volátiles, producto de fermentación, tiene una gran importancia en el proceso de la digestión, pues puede llegar a acidificar el fango provocando el fallo del proceso.

El aumento de la concentración de ácidos volátiles puede venir producido por sobrecarga de alimentación, o por una inhibición de las metanobacterias. A su vez, una gran concentración puede provocar la rotura de la capacidad tampón del fango, disminuir el pH y, en consecuencia, inhibir las bacterias formadoras de metano.

1.5.5 Producción de biogás

El denominado biogás es una mezcla gaseosa que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Sus principales componentes son metano (54-70%) (CH_4), dióxido de carbono (27-45%), hidrógeno (1-10%), nitrógeno (0,5-3%) y sulfuro de hidrógeno (0,1%), que se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo.

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida, según sean las características del fango.

El biogás del digestor (debido al metano) posee un poder calorífico aproximado de 4.500 a 5.600 kcal/m³. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (8.500 kcal/m³), pudiéndose aumentar eliminando todo o parte del CO₂ presente en el biogás. La producción total de gas depende fundamentalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, dicho de otra forma, de la cantidad de sustrato eliminado en el proceso.

1.5.6 Efluentes

Además de generar gas combustible, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes (fertilizante orgánico rico en nitrógeno, fósforo y potasio).

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas. Asimismo, el bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente teniendo en cuenta

que la deshidratación conlleva pérdidas por volatilización de hasta 60%, sobre todo de nitrógeno. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos.

1.6 COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAEROBIO

Los principales componentes de un digestor anaeróbico lo constituyen un reactor o contenedor de las materias primas a digerir, con sus sistemas de entrada de afluentes y salida de efluentes, extracción de lodos, sistema de gas, muestreador y sistema de calentamiento.

1.6.1 Reactor

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE, concreto hasta acero inoxidable.

1.6.2 Entrada del afluente

Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

1.6.3 Salida del efluente

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

1.6.4 Extracción de lodos

Las tuberías de extracción de lodos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos.

1.6.5 Sistema de gas

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y dióxido de carbono. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el dióxido de carbono del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases.

Debido a la presencia de metano (60%), el gas del digestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro.

El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Apagallamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes.

1.6.5.1 Cúpula de gas

Habitualmente, la parte superior del digestor, llamada domo o cúpula o campana de gas, se utiliza para almacenar el biogás que se genera. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. En los tanques de cubierta fija, puede haber también un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o negativa (vacío) creada por la extracción del lodo o del gas rápidamente. Si la presión de gas sube por encima de los 30 cm de columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmósfera, sin levantar la cubierta. Si se extrae el lodo o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua, permitiendo la entrada del aire en el tanque. Sin el cierre de agua el vacío aumentaría enormemente y destrozaría el tanque. La tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el digestor puede también proteger a éste de las pérdidas del cierre de agua, si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del digestor, el gas puede volver al tanque a través de la misma conducción.

1.6.5.2 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío

La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocadas sobre la misma tubería, pero cada una trabaja independientemente. La válvula de seguridad consta de un plato cargado con arandelas de peso calibrado. La combinación de estos pesos junto con el peso del plato debe igualar la presión de gas de proyecto del tanque (normalmente entre 15 y 20 cm de columna de agua). Si la presión de gas en el tanque excede de este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un par de minutos. Ello debe ocurrir antes de que se rompa el cierre de agua. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva o cuando la extracción del gas sea demasiado lenta.

La válvula rompedora de vacío funciona de manera idéntica, excepto en que alivia las presiones negativas para evitar el colapso del tanque.

6.1.5.3 Apagallamas

El apagallamas típico es una caja rectangular que contiene aproximadamente de 50 a 100 placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. Si se ocasionara alguna llama en la tubería del gas, se enfriaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los deflectores, pero el gas podría seguir pasando con poca pérdida de carga.

Para evitar explosiones deben instalarse apagallamas:

- Entre las válvulas de seguridad y rompedora de vacío y en la cúpula del digestor.
- Después del purgador de sedimentos, en la tubería de gas del digestor.
- En el quemador de gases en el exceso.
- Delante de cada caldera, horno o llama.

1.6.5.3 Válvulas térmicas

Se trata de otro dispositivo de protección instalado cerca de una fuente de llama y cerca de la cúpula de gas. Este tipo de válvulas son redondas, con un plato de cierre unido al accionamiento, por un muelle vástago. El vástago apoya sobre un disco fusible que mantiene el plato unido. Si la llama genera el calor suficiente, el elemento fusible se funde y el muelle acciona el vástago hasta que el plato asienta, para cortar el paso del gas.

1.6.5.4 Separadores de sedimentos

Un separador de sedimentos es un recipiente de 30 a 40 cm de diámetro y 60 a 90 cm de longitud. Está situado, generalmente, en la parte superior del digestor, cerca de la cúpula de gas, y está equipado también con un deflector interior perforado, y un drenaje de condensados cerca del fondo. El gas entra por la parte superior de un lateral del tanque, desciende, atraviesa el deflector,

vuelve a subir y sale por la parte superior. La humedad del gas y todos los trozos grandes de incrustaciones quedan retenidos aquí antes de entrar en el sistema de gas.

1.6.5.5 Purgadores de condensado

El gas del digestor está bastante húmedo, y en su recorrido desde el tanque caliente hasta zonas de temperatura más bajas el agua se condensa. Esta agua debe recogerse en los puntos bajos del sistema, ya que de lo contrario impedirá que el gas circule, causando daño en algunos equipos como los compresores, e interfiriendo en la posterior utilización del gas. Estos purgadores disponen generalmente de una capacidad de un cuarto o medio litro de agua.

1.6.5.6 Medidores de gas

Los medidores de gas pueden ser de diversos tipos, como fuelles, diagramas de flujo en paralelo, molinetes y placas de orificios o presión de diferencial.

1.6.5.7 Manómetros

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

1.6.5.8 Reguladores de presión

Se instalan, generalmente, antes y después del quemador de gases en exceso. Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor. Normalmente se taran a 20 cm de columna de agua, ajustando la tensión del muelle sobre el diafragma. Si la presión de gas en el sistema es inferior a 20 cm de columna de agua, no llegará gas al quemador. Cuando la presión del gas alcance los 20 cm de columna de agua, el regulador se abre ligeramente, dejando que el gas pase al quemador. Si la presión continúa aumentando, el regulador se abre aún más para compensar.

Los reguladores de gas están también situados en otros puntos del sistema, para regular la presión de gas en las calderas, calentadores y motores.

1.6.5.9 Almacenamiento del gas

El gas producido en la digestión anaeróbica se puede almacenar en un gasómetro que está separado del digestor, o bien, en el mismo digestor en la parte superior de éste.

Gasómetros a presión. El gas que se produce en el digestor es enviado por medio de compresores a depósitos donde queda almacenado a presión. Posteriormente, es extraído de estos depósitos y enviado a las instalaciones de

utilización o de quemado. La presión de almacenamiento es, aproximadamente, de 3,4 atm, lo que permite disminuir el volumen de gas a una tercera parte de lo que ocupa en el digestor.

Gasómetros de cubierta flotante. Almacenan el gas variando su altura. En estos gasómetros los gases se mantienen a una presión baja aproximada de 200 mm de columna de agua. Consisten en una campana flotante, similar a la cubierta flotante de un digestor primario. Una serie de ruedas permiten que la cubierta pueda deslizarse libremente hacia arriba o hacia abajo, según la cantidad de gas almacenado. Estas ruedas deslizan sobre unos perles de acero que actúan como guías de la campana.

1.6.5.10 Quemador de los gases sobrantes

La antorcha o quemador de gases se utiliza para eliminar los gases en exceso del sistema de digestión. Va provisto de una llama piloto de quemado continuo, para que cualquier exceso de gas que pase por el regulador se quemese.

1.6.6 Muestreador

El muestreador consiste en una tubería de 8 ó 10 cm de diámetro con una tapa de cierre con bisagras que penetra en el tanque de digestión, a través de la zona de gas, y que está siempre sumergida unos 30 cm en el lodo del digestor. Esto permite la toma de muestras del lodo del digestor, sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor.

1.6.7 Sistema de calentamiento del digestor

Un digestor puede funcionar a cualquier temperatura, sin embargo, el tiempo que tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. A medida que aumenta la temperatura, disminuye el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del lodo. En general, los digestores modernos funcionan en un rango de temperaturas medias, entre 35 y 37 °C, que corresponde a rango mesofílico.

Los digestores se pueden calentar de diversos modos, aunque las instalaciones actuales están dotadas, en general, de digestores que se calientan por medio de la recirculación de lodos del digestor a través de un intercambiador exterior de agua caliente. El gas del digestor se usa como combustible en la caldera, cuya temperatura óptima de operación es de 60 a 80 °C. El agua caliente se bombea desde la caldera al intercambiador de calor, donde cede su calor al lodo recirculante. En algunos equipos la caldera y el intercambiador de calor están combinados y el lodo pasa también a través del equipo.

1.7 TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS

Las clasificaciones acerca de los tipos de tecnologías anaerobias son muy amplias y suelen diferir según las fuentes. Dentro de esta gran variedad se ha optado por presentar en este punto una clasificación lo más amplia y completa posible, mostrando las características generales correspondientes a los distintos reactores, completándose en puntos sucesivos las particularidades asociadas a cada uno de ellos en función de la materia orgánica a digerir y las características del proceso.

1.7.1 Digestor discontinuo

El proceso consiste en la introducción al digestor de la biomasa fresca junto con una parte del residuo procedente de una digestión anterior rico en población bacteriana, buscando una fermentación más rápida, de forma discontinua.

La aplicación de estos digestores se realiza con residuos sólidos agrícolas y ganaderos.

Las ventajas frente al proceso continuo son:

- Minimización de las necesidades en el manejo y pretratamiento de los residuos.
- Diseño sencillo.
- Bajos requisitos económicos.
- Bajas necesidades de mantenimiento térmico del digestor.
- Tratamiento de diferentes tipos de residuos orgánicos.
- Idóneo para explotaciones pequeñas y medianas.

Los inconvenientes se resumen en:

- La variación tanto en la cantidad de gas producida como en la composición de dicho gas.
- Problemas mecánicos asociados a la carga y descarga, así como en la estanqueidad del digestor.
- Difíciles de aplicar en grandes instalaciones.

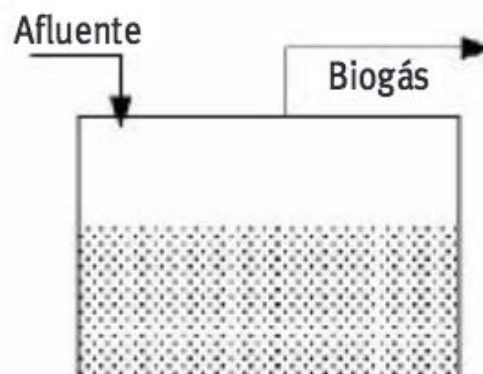


Figura 1.5 Digestor discontinuo. Fuente: IDAE

1.7.2 Digestor semi-continuo

Se caracterizan por ser reactores de volumen pequeño, sin aislamiento, ni sistema de calefacción, realizándose la carga y la agitación de forma semicontinua.

Se trata de digestores típicamente rurales. Al no existir recirculación del influente digerido, el biol resultante contiene gran cantidad de microorganismos aerobios, por lo que se emplean principalmente en la digestión de vertidos que contienen estiércol.

Pueden ser de tres tipos:

1.7.2.1 Digestor con cúpula móvil (tipo hindú)

Este digestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de la corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que se desplaza por una guía central. Este biodigestor trabaja a presión constante y es muy fácil de operar ya que fue ideado para ser manejado por campesinos con muy poca preparación. El reactor se alimenta de modo semi-continuo a través de una tubería de entrada.

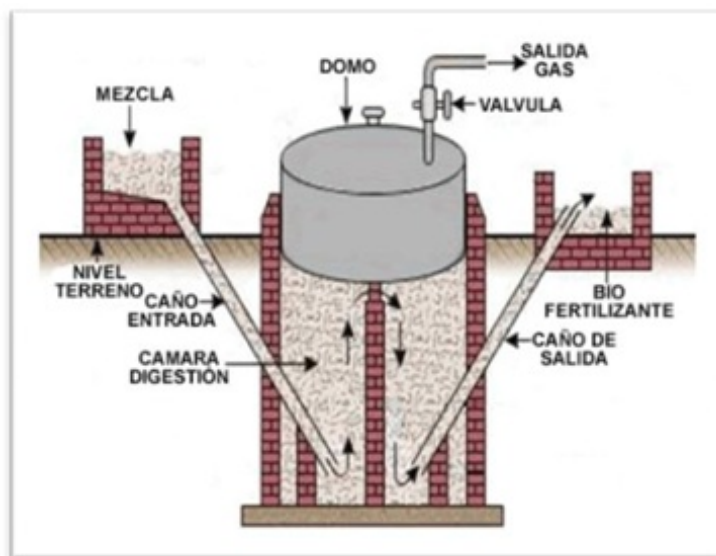


Figura 1.6 Digestor tipo Hindú con cúpula móvil. Fuente: Imágenes de google

1.7.2.2 Digestor con cúpula fija (tipo Chino)

El biodigestor chino fue desarrollado al observar el éxito del biodigestor Hindú, el gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que el problema en China no era energético sino sanitario. Los chinos se deshicieron de las heces humanas en el área rural y al mismo tiempo obtuvieron abono orgánico, con el biodigestor se eliminan los malos olores y al mismo tiempo se obtiene gas para las cocinas y el alumbrado. El biodigestor chino funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir gas sino el abono orgánico ya procesado.

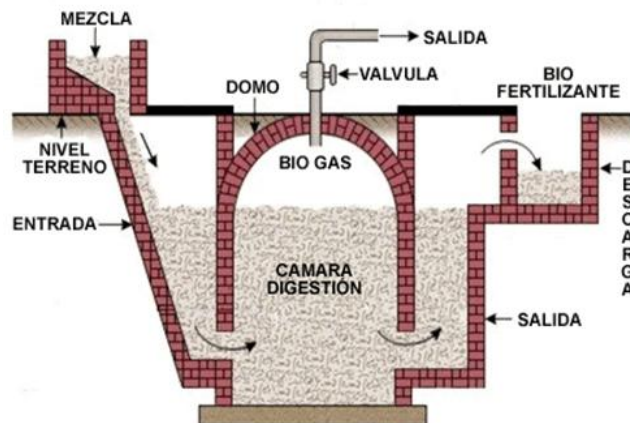


Figura 1.7 Digestor tipo Chino con cúpula fija. Fuente: Imágenes de google

1.7.2.3 Digestor de estructura flexible (tipo Taiwán)

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una desventaja limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán, en la década de los 60, a hacer digestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente usaron nylon y neopreno pero, debido a su coste, los reemplazaron después por polietileno (generalmente una lámina de plástico de las que se usan en los invernaderos). El Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha venido recomendando digestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo así la presión en otros recursos naturales.

En este digestor, el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.



Figura 1.8 Digestor tipo Taiwán de estructura flexible. Fuente: Imágenes de google

1.7.3 Digestor de mezcla completa (CSRT)

Es el tipo de digestor más utilizado, tanto a nivel de planta piloto como industrial, empleándose principalmente en el tratamiento de residuos líquidos de procedencia ganadera, industrial y urbana.

La carga al reactor puede hacerse de forma continua o discontinua, dependiendo del tipo de instalación en el que esté operando. En instalaciones de pequeño tamaño la carga se realiza de forma diaria (en algunos casos cada dos o tres días); en instalaciones de mayor tamaño este proceso se realiza de forma continua.

Es necesaria la aplicación de agitación mecánica y/o neumática.

El efluente depurado se compone de sustancia digerida, sustancia fresca y una fracción de población bacteriana activa. Esto es debido a la homogeneización interior del digestor y porque el tiempo de retención hidráulico es igual al tiempo de retención de la biomasa bacteriana.

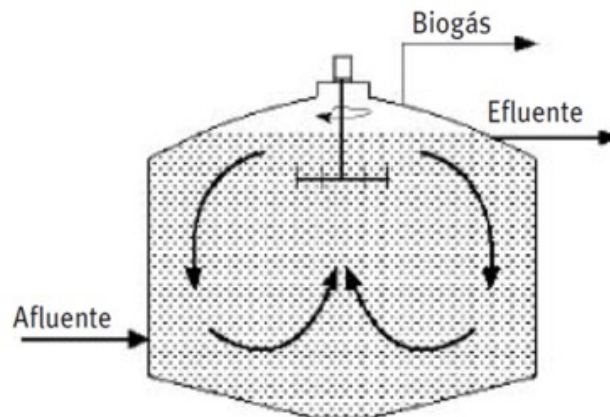


Figura 1.9 Digestor de mezcla completa (CSRT). Fuente: Imágenes de google

1.7.4 Instalaciones industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de plantas, debido al gran volumen de materia orgánica que necesitan para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseñan con grandes estanques de recolección y almacenamiento construidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los digestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor. Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los digestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

1.8 PREPARACIÓN DEL PURÍN

La preparación de la materia prima a digerir es una etapa esencial en la producción de biogás, común a todos los procesos, independientemente de los residuos empleados.

- El sustrato suele poseer altas concentraciones de materia seca. En procesos de fermentación húmeda una concentración de materia seca

del 10-14% es la ideal, con la fracción de materia orgánica seca tan alta como sea posible.

- El sustrato debe estar higienizado en base a cumplir las restricciones legales.
- Los materiales fibrosos, tales como hierbas o pajas, se deben tratar de retirar para evitar perturbaciones en el comportamiento del digestor.

1.9 ALIMENTACIÓN DEL DIGESTOR

Después de la preparación del purín, el sustrato está listo para ser alimentado al digestor. La carga generalmente se realiza de forma discontinua, una o dos veces al día, aunque bien puede realizarse continuamente. En casos en los que se trabaja con sustratos que no requieren tratamientos previos, como en el caso de residuos procedentes de agricultura empleando fermentación húmeda, se emplea un tanque de preparación del sustrato, equipado con mezcladores, que hace las veces de tanque pulmón a la entrada del reactor.

Durante el llenado debe evitarse cualquier corriente de aire o desprendimiento de gases. Idealmente, la entrada debería encontrarse por debajo del nivel de líquido, pudiéndose realizar de múltiples formas: mediante tuberías, chimeneas, tornillos sin fin, etc.

En algunas plantas el influente es precalentado a la temperatura óptima de digestión mediante cambiadores de calor externos.

Capítulo 2:

2 CONTENIDO DEL PROYECTO

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA GRANJA ESTUDIADA PARA INSTALCIÓN DE LA PLANTA DE BIOGAS

La granja objeto de estudio de instalación y posterior viabilidad de una planta de biogás, se sitúa en el término municipal de Laluega (Huesca), cerca de Barbastro. Cuenta con una capacidad para 650 cerdas madres y a lo largo del año produce unos 15.200 lechones, con una media de producción semanal de 300 lechones.

La temperatura media anual de la zona donde se sitúa la granja es de 12,2 °C y la precipitación es de 485 mm al año.

La granja tiene un consumo medio anual de gasoil con un coste en torno a los 30.000 €. El principal gasto energético es el que generan los 3 grupos electrógenos de la explotación.

Cuenta con una balsa para almacenar el purín de 1.000 m³.

Esta información general se irá ampliando con profundidad en los siguientes puntos del proyecto.

2.2 PURÍN GENERADO EN LA GRANJA

Como se ha indicado en el apartado anterior la granja tiene una capacidad para 650 madres y produce a lo largo del año unos 15.200 lechones con una media de producción de 300 lechones semanales.

Consideramos que el volumen diario de excretas producidas por tipo de cerdo, se ajusta a los datos proporcionados por Penz (2000), los cuales aparecen detallados la tabla 2.1.

Etapa	Estiércol kg/día	Est.+orina kg/día	Volumen l/día	Volumen m ³ /animal/mes
Hembra	3,6	11	16	0,48
H. lactación	6,4	18	27	0,81
Lechón	0,35	0,95	1,4	0,05
Semental	3	6	9	0,28

Tabla 2.1 Producción diaria de excrementos según el tipo de cerdo (Penz, 2000). Fuente: www.Producción-animal.com

Con los datos de la Tabla 2.1, la producción de excrementos (estiércol y purín) en nuestro proyecto de granja sería la siguiente:

- 520 hembras gestación × 3,6 kilos de estiércol al día= 1.872 kg/día
- 520 hembras gestación × 7 litros purín al día= 3.640 L/día
- 130 hembras lactantes × 6,4 kilos estiércol al día= 832 kg/día
- 130 hembras lactantes × 27 litros de purín al día= 3.510 L/día
- 3.000 lechones × 0,35 kilos de estiércol al día= 1.050 kg/día
- 3.000 lechones × 1,4 Litros de purín al día= 4.200 L/día

En total se producen diariamente 3.754 kg de estiércol y 11.350 L de purín.

Como valores orientativos y que nos interesan, el volumen de purín generado en la explotación a lo largo de un mes es igual a:

$$3.754 \text{ kg/día} \times 30 \text{ días/mes} = 112.620 \text{ kg /mes} \times 12 \text{ meses/año} = 1.351.440 \text{ kg/año} = 1.351,44 \text{ tn/año}$$

$$(11.350 \text{ L/día} \times 30 \text{ días/mes})/1000 \text{ L/m}^3 = 340,5 \text{ m}^3/\text{mes} \times 12 \text{ meses/año} = 4.086 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, vamos a partir de estos datos para calcular la cantidad de biogás que se puede producir y así dimensionar el digestor del modo, más ajustado a las necesidades de la granja.

2.3 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA GRANJA

Mediante la ecuación de equilibrio térmico, se pueden determinar las necesidades de calefacción o refrigeración Q_c (kcal/h·plaza) para cada mes del año, en función de la temperatura anual de la zona y en función del tipo de aislamiento.

El cálculo para determinar las necesidades energéticas (calor suministrado por la calefacción / refrigeración), se basa en el principio de equilibrio térmico en un alojamiento ganadero.

Por un lado, el calor transmitido a través de los cerramientos (Q_t) depende del sistema de aislamiento empleado, y tendrá distinto signo en función del sentido del flujo de calor. El caudal de aire que entra en las instalaciones necesita ser calentado o refrigerado (Q_v). Por otro lado, los animales aportan calor (Q_s) en el interior de la explotación. Por lo tanto, será posible compensar las pérdidas y ganancias de calor a través del (Q_c), calor aportado por los equipos de calefacción o refrigeración.

La ecuación de equilibrio térmico en un alojamiento ganadero es la siguiente:

$$Q_s + Q_c = Q_v + Q_t$$

donde:

- Q_s es el calor sensible aportado por los animales.
- Q_c es el calor suministrado por la calefacción/refrigeración.
- Q_t es el calor transmitido que se pierde o se gana a través de los elementos constructivos de la granja.
- Q_v es el calor necesario para calentar o enfriar el aire que penetra en el alojamiento desde el exterior como consecuencia de las necesidades de ventilación. Estas necesidades de ventilación son las de la siguiente tabla.

Categoría Animal	Q_s (kcal/h×cabeza)
Gallinas puesta	9
Pollos engorde	6
Gestación-cubrición(cerdas-verracos)	115
Cerdas lactantes	200
Lechones	45
Cerdos de cebo	97,5

Tabla 2.2 Calor sensible aportado por los animales. Fuente: IDAE

Categoría Animal	Ventilación (m ³ /h×cabeza)		
	Invierno	Primavera/Otoño	Verano
Aves	1,4	3,7	6
Gestación-Cubrición	50	125	200
Cerdas lactantes	75	212,5	350
Lechones	12	36	60
Cerdos de cebo	29	77	125

Tabla 2.3 Ventilación necesaria en función de la explotación y la estación del año. Fuente: IDAE

La temperatura a la cual se encuentra la granja a lo largo del año es de 22-24 °C en maternidad y 22-28 °C en destete.

En el caso del presente proyecto vamos a tomar un consumo medio energético para cubrir todas las demandas en función de todos los aparatos eléctricos que se pueden tener en funcionamiento en la granja. Como el calor transmitido que se pierde o se gana a través de los elementos constructivos de la granja es un dato que no podemos obtener, no podemos utilizar la ecuación de equilibrio térmico para determinar las necesidades energéticas.

La energía en la granja se genera mediante 3 grupos electrógenos con las siguientes características 400 V, 21 kW y 27 kVA, con funcionamiento en pico de 24 kW y 31 kVA. Gastan una media de 3.000 L/mes en total. Uno de los 3 grupos apenas se utiliza y normalmente funcionan los otros 2 alternando a conveniencia del encargado de la explotación.

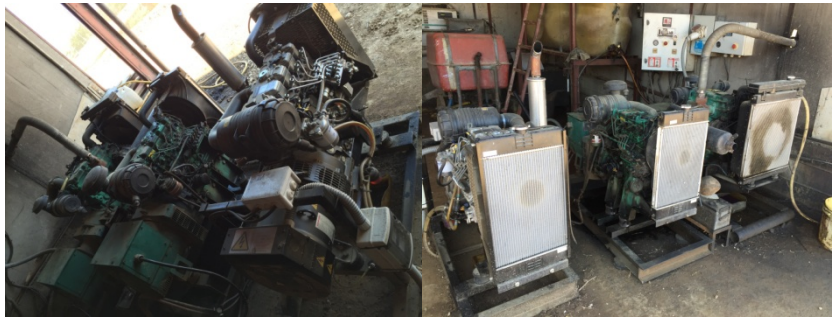


Figura 2.1 Generadores explotación a estudio. Fuente: Foto tomada explotación

Los equipos eléctricos que consumen electricidad en la explotación son:

- Caldera: 0,17 kW= 170 W. (Importante señalar que funciona con gasoil y consume 1.500 L/mes durante los meses de Octubre a Marzo que se utiliza. Dato sustancial para luego analizar la viabilidad del proyecto.)
- Extractores pequeños: 7 en destete más 5 maternidad. $12 \times 300 \text{ W} = 3.600 \text{ W}$. Funcionan las 24 horas.
- Extractores grandes: $12 \times 500 \text{ W} = 6.000 \text{ W}$
- Paneles humidificadores: $80 \text{ W} \times 12 = 960 \text{ W}$
- Bombas de agua para los humidificadores: $40 \text{ W bomba} \times 12 = 480 \text{ W}$
- Bomba de agua: 250 W
- Fluorescentes: $52 \times 40 \text{ W} = 2.080 \text{ W}$

Total de energía eléctrica con todos los equipos conectados a la vez = pico de energía que podemos necesitar = **13.540 W = 13,54 kW**



Figura 2.2. Caldera de la explotación.

Fuente: Foto tomada explotación

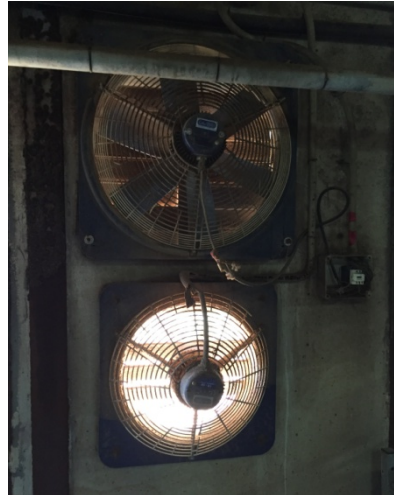


Figura 2.3. Extractores de la explotación.

Fuente: Foto tomada explotación



Figura 2.4 Panel humidificador y bomba correspondiente Fuente: Foto tomada explotación



Figura 2.5 Bomba agua explotación. Fuente: Foto tomada explotación

Por lo que el consumo pico eléctrico de la granja para cubrir toda la demanda energética, entre iluminación, ventilación y calefacción lo vamos a cifrar en torno a los 13,54 kW, que será el momento de mayor consumo eléctrico. Valor que vamos a utilizar para calcular posteriormente el generador que mejor se adapte a la demanda energética, en función de la producción de biogás.

2.4 TEMPERATURAS DE PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

En los siguientes subapartados, se analiza la cantidad de biogás que se va a producir con el purín generado en la granja.

Para una planta de biogás, la temperatura recomendada para producir este tipo de gas suele rondar los 35 °C puesto que, si la temperatura es menor, el tiempo de retención en el digestor aumenta notablemente retrasando el proceso de producción. A esta temperatura de 35 °C se le denomina rango mesofílico y el tiempo de retención en el digestor es de un promedio de unos 30 días. Por lo que, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario que la energía aportada sea la suficiente como para conseguir la temperatura del desecho que se está utilizando para producir este biogás. En la siguiente tabla queda especificado el tiempo de retención del desecho con respecto a la temperatura de trabajo:

Temperatura de trabajo (°C)	Tiempo de retención en el digestor (días)
15	56
26	40
35	30
49	16

Tabla 2.4 Relación de Tª de trabajo con tiempo en el digestor. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la temperatura óptima de trabajo tal y como se ha indicado en el párrafo superior, estaría entre los 26 y los 30 °C que son temperaturas a las que el purín tiene que estar un menor número de días en el digestor, ya que el calentar a 49 °C el purín supone mucho consumo energético y por lo tanto se ahorran días, pero no compensa con el consumo.

2.5 BIOGÁS PRODUCIDO EN LA GRANJA

Para el cálculo de la cantidad de biogás anual y mensual, hemos partido de los datos de la tabla 2.5, en la que aparece la cantidad de m³ de biogás por tonelada de excremento.

Materias Primas	Purín cerdo	Estiércol Cerdo	Ensilado de maíz
Generación de biogás (m ³ /tMF)	19	94	240
Energía térmica (kWh/tMF)	94	564	1.440
Electricidad (kWh/tMF)	38	226	576
<i>Productividad de biogás para diferentes materias primas</i>			
<i>Poder calorífico medio= 6 kWh/m³; eficiencia de conversión a electricidad</i>			

Tabla 2.5 Cantidades de biogás, energía y electricidad por tonelada de excremento.

Fuente: http://rembio.org.mx/?page_id=643 Red Mexicana de Bioenergía

Por lo tanto, a partir de estos datos de la tabla 2.5 y conociendo los kilos de estiércol al día, vamos a calcular la cantidad anual y mensual de biogás y de metano producidos en la granja, considerando que el 60% del biogás es metano.

	Estiércol anual (toneladas)	Estiércol mensual (toneladas)	Biogás anual (m ³)	Biogás mensual (m ³)	Metano anual (m ³)	Metano mensual (m ³)
TOTAL	1.351	112,62	126.994	10.582	76.196	6.349,7

Tabla 2.6 Cantidades de biogás y metano producidas en la granja. Fuente: Elaboración propia

2.6 DIMENSIONADO

El cálculo puede realizarse de dos formas:

- Acorde a la cantidad de residuo generado, que es la que vamos a utilizar para nuestro dimensionado, ya que lo que queremos es no contaminar y poder tratar todos los excrementos generados en la granja.
- Acorde a otras restricciones, como la disponibilidad del terreno.

La carga de excrementos al reactor se producirá de forma diaria. Sabiendo el número y tipo de cabezas de ganado y la cantidad aproximada de excrementos que produce cada animal al día, se pueden estimar las proporciones de agua necesarias para obtener la mezcla diluida, generalmente al 4% en sólidos totales, de entrada al reactor. El volumen líquido total del reactor será:

$$V_L(m^3) = \text{Carga}(m^3/\text{día}) \times T_R(\text{día}) \quad V_L(m^3) = (340,5/30) \times 30 \quad V_L(m^3) = 340,5 m^3$$

El volumen líquido del reactor corresponde a las tres cuartas partes del volumen total, siendo el cuarto restante el correspondiente a la campana de gas. Así, se podrá calcular el volumen gaseoso y total, como sigue:

$$V_G(m^3)=V_L(m^3)/3 \quad V_G(m^3)=340,5 \text{ m}^3/3 \quad V_G(m^3)=113,5 \text{ m}^3$$

$$V_T(m^3)=V_G(m^3)+V_L(m^3) \quad V_T(m^3)=[340,5+113,5] \text{ m}^3 \quad V_T(m^3)= 454 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, para digerir todos los excrementos generados en la granja el digestor deberá tener un volumen de 454 m³ como mínimo.

Está previsto que el proceso se realizará en una sola balsa.

2.7 TEMPERATURAS MEDIAS DE LA ZONA DE INSTALACIÓN

La temperatura es un factor importante en el funcionamiento del digestor, ya que cuanto más baja sea la temperatura, más tiempo deberá permanecer el residuo en el digestor. Por consiguiente, tenemos que hacer un estudio de las temperaturas que se van a dar durante todo el año, para valorar si se va a poner sistema de calentadores para los excrementos o bastará con aprovechar el calor solar. Como la granja de estudio se sitúa en Laluega se han tomado las temperaturas medias de los diferentes meses del año de la oficina del regante de los 2 últimos años de la estación de medición de Barbastro. Se ha utilizado esa fuente por ser la más fiable que he encontrado.

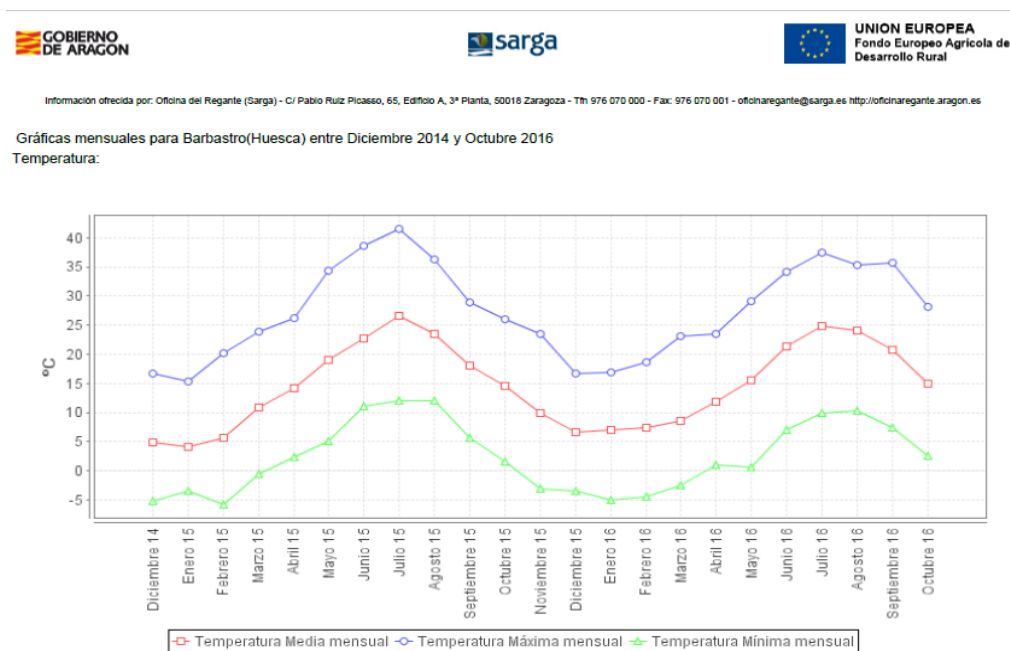


Figura 2.6 Temperaturas medias de Laluega de los últimos 2 años. Fuente: Oficina del Regante

Con los datos de la gráfica, se puede llegar a la conclusión de que los meses problemáticos, serán los que van de Octubre a Marzo, ambos incluidos. Por lo tanto, durante esos meses habrá días en los que sí que podría ser necesaria la calefacción en el digestor. Asimismo, y toda vez que la consideración de meses problemáticos es una simple estimación, el comienzo de tal periodo puede ser

flexibilizado. De hecho, este año en el mes de Octubre las temperaturas han sido bastante altas y no hubiera hecho falta calor extra para calentar el purín del biodigestor.

2.8 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL DIGESTOR

El digestor que se va a seleccionar para este tipo de instalación, es un digestor de fosa hermética ya que, aparte de su buen rendimiento, sin dejar de lado el rendimiento del mismo.

El digestor de fosas herméticas es capaz de satisfacer las necesidades rurales de acuerdo a la prevención medioambiental y, a la demanda energética (biogás) tratando los efluentes y transformándolos en biofertilizantes. Estos digestores tienen diversos modelos, formatos y tamaños y utilizando diferentes tecnologías es posible adecuarlos al tipo de residuo que se pretende utilizar y con la frecuencia idónea.

Estos digestores proporcionan ventajas como disminución de moscas, parásitos, patógenos y mal olor, además de reducciones en las demandas biológicas y químicas de oxígeno (DBO y DQO) y permiten la estabilización de la materia orgánica con mejor aprovechamiento de los minerales.

El biogás producido puede ser utilizado en el calentamiento de calderas, refrigeración, iluminación, conjuntos moto generadores de energía eléctrica y motobombas.

Este biodigestor, cuenta con:

- La geomembrana de PVC, producida con formulación especial para resistir la acción de la intemperie y que puede constar en doble capa. Para garantizar una mayor resistencia mecánica, en diversos casos, se acopla el geotextil a la geomembrana (geocompuesto).
- Revestimientos de suelos, paredes y fondos con geocompuesto de PVC flexible y una geomembrana adicional que se va hinchando con el biogás producido. Este sistema nos permite obtener las condiciones anaeróbicas necesarias y las de almacenamiento del biogás.
- Cajas de distribución y tuberías que permiten el abastecimiento con los desechos y encauzamiento del biofertilizante líquido para la laguna secundaria, también revestida con geomembrana.
- Tuberías necesarias para el transporte del biogás.

Estos biodigestores, pueden ser usados en: porcicultura, avicultura, bovino cultura, ovino cultura, frigoríficos, productos lácteos, destilerías de alcohol y otras agroindustrias.

Los beneficios que obtenemos de este biodigestor son:

- Disponibilidad de combustible en las zonas rurales.

- Reducción de las necesidades de combustible, minimizando o evitando el consumo de otros tipos de fuentes energéticas: GLP, diésel, electricidad.
- Disminución del volumen de sólidos, reduciendo así el coste del transporte para el cultivo.
- Adaptabilidad de diseños para cada finca en cualquier escala.
- Facilidad de instalación.
- Optimización de la relación coste-beneficio.

A continuación se detallan, en imágenes y esquemas, su estructura y componentes:



Figura 2.7 Vinibiodigestor Sansuy. Fuente: <http://www.vinibiodigestor.com.br/>

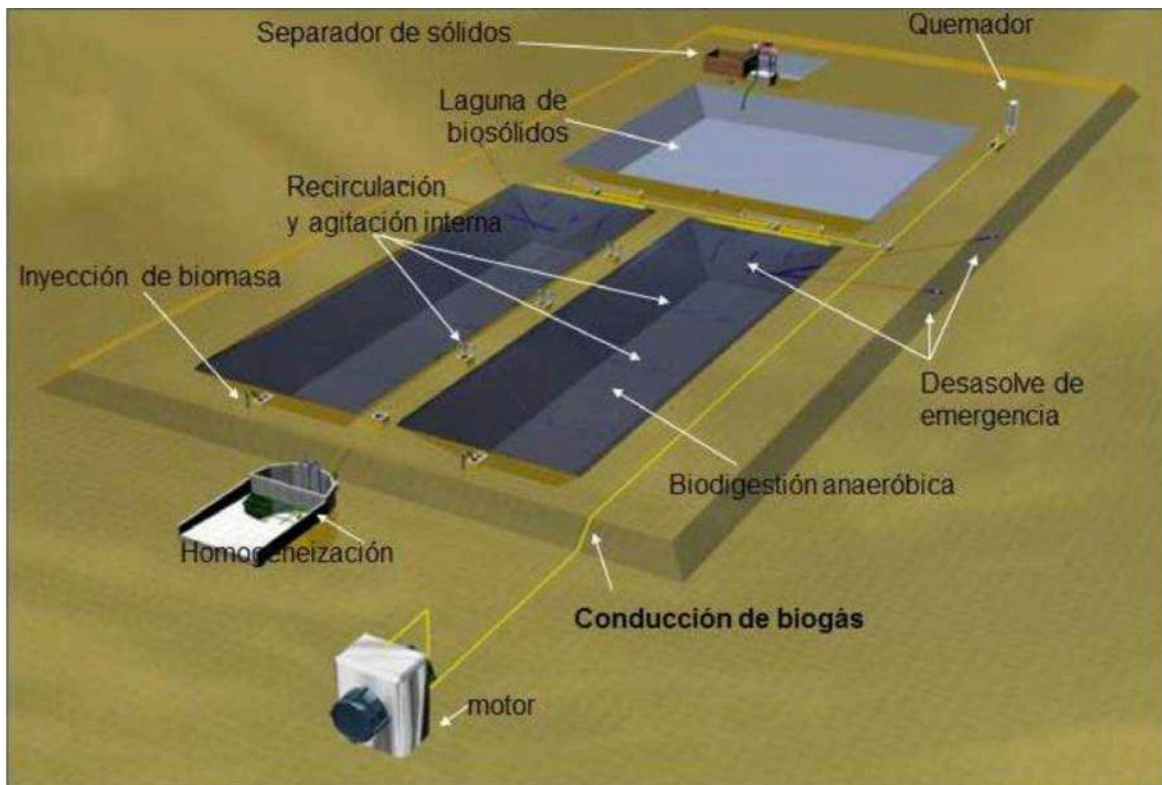


Figura 2.8 Componentes del digestor. Fuente: <http://www.biogemex.net/productos-de-biogemex/biodigestores/disenio-1/>

Un factor determinante para la elección de este tipo de digestores respecto a otros ha sido, aparte de su precio más competitivo, las ventajas de su facilidad de instalación y las de reparación (mediante parches y calor) de las coberturas de lona en caso de rotura.

Como único inconveniente puede invocarse el requerimiento de superficies de instalación mayores que las que precisan algunos digestores alternativos, exigencia derivada de la necesidad de espacio para la ubicación de las balsas.

2.9 INSTALACIÓN DEL DIGESTOR

2.9.1 Preparación de las zanjas

Se realizará la piscina, mediante la excavación en el terreno de los espacios con las dimensiones necesarias para la instalación del digestor. Estos tendrán unos taludes con una inclinación sobre los 60° para evitar cualquier tipo de desprendimiento de los mismos y una profundidad máxima de 2,5 m.

2.9.2 Instalación del digestor en las piscinas

Se preparan zanjas recubiertas con material impermeabilizante, como polietileno de alta densidad (HDPE) o policloruro de vinilo (PVC), para evitar

cualquier tipo de contaminación o fuga, así como las diferentes canalizaciones para poder realizar la recirculación y la agitación interna entre piscinas. Posteriormente se cubrirá la piscina con el plástico adecuado para su sellado hermético y el aseguramiento de las condiciones anaerobias y de ausencia de luz necesarias para que se pueda llevar a cabo el proceso de la digestión.



Figura 2.9 Instalación membrana impermeabilizante. Fuente: <http://www.biogemex.net>

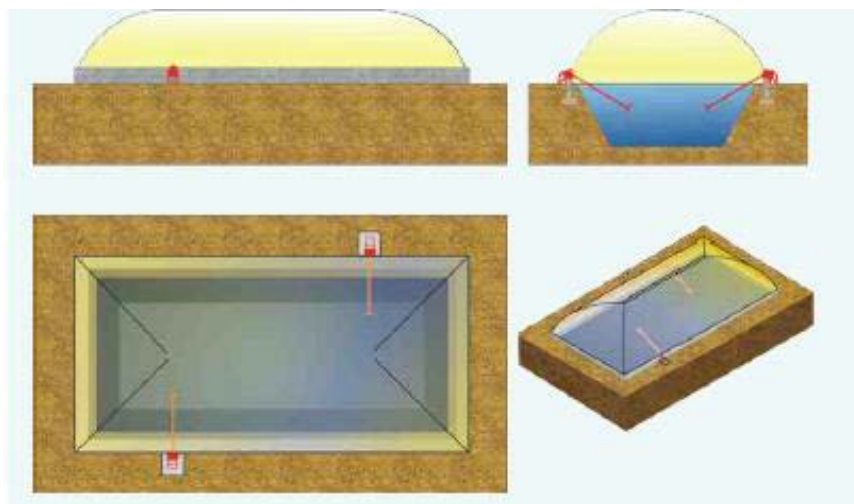


Figura 2.10 Diseño conceptual del biodigestor. Fuente: Aqualimpia

2.9.3 Tuberías de entrada y salida

Se instalarán las tuberías del digestor, tanto las de alimentación, destinadas a introducir el purín desde la granja al alimentador de homogenización del

digestor, como las diseñadas para evacuar el biofertilizante desde el digestor a una balsa de almacenaje.

2.10 LÍNEA DE BIOGÁS

Una vez que se ha realizado la conexión de la salida de biogás esta se conecta con una tubería de PVC. Esta tubería se mantiene en posición elevada, por lo menos a medio metro del suelo, empleando postes o sujeta a alguna pared cercana. En caso de que la tubería no tenga un recorrido recto se emplearán codos cuando sea preciso.

Es necesario purgar el agua que pudiera condensarse y acumularse en los puntos inferiores de las conexiones, al estar situadas estas en posiciones elevadas, ya que este agua podría llegar a impedir el tránsito del biogás. Para asegurar la purga se colocan en los puntos inferiores unas T con fondo roscado donde se situará un tapón, eliminando el agua mediante la apertura de dicho tapón periódicamente.

Está línea contará en un extremo con un quemador y en el otro extremo será la línea que irá hacia consumo del motor, u otro tipo de consumo.



Figura 2.11. Quemador de biogás. Fuente: <http://www.biogemex.net>

2.10.1 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad permite que, en caso de que no se consuma biogás y el quemador esté estropeado, este tenga un camino por el que poder evacuarse, evitando también la entrada de oxígeno al proceso.

Su colocación debe ser cercana al digestor para que así pueda apreciarse si se requiere algún tipo de mantenimiento.

Se realiza con un tubo en forma de U, colocado en la parte inferior de la tubería, el cual se encuentra abierto por un extremo, permitiendo ir rellenando de agua la válvula, a medida que esta se evapora o facilita la salida del biogás por una emergencia.

A la salida de la válvula se sitúa una llave de paso todo-nada que permita aislar el conjunto digestor-válvula de seguridad, quemador y filtro en caso de que fuese necesario por motivos de mantenimiento o modificaciones del circuito.

2.10.2 Filtro de gas

Es un sistema para purificar el gas que sale del digestor y que va hacia el flujómetro, quemador y motogenerador. La función principal es filtrar el sulfuro de hidrógeno que es el causante del desgaste en los equipos construidos con materiales en acero al carbono u otros materiales sensibles a los ácidos.

La longitud y ancho del filtro ira acorde al flujo de biogás, por lo que el diseño es en función de cada proyecto.



Figura 2.12 Filtro de Biogás. Fuente: <http://www.biogemex.net>

2.10.3 Gasómetro

En el caso considerado en este proyecto, no resulta estrictamente necesaria la utilización de un gasómetro, ya que el formato del digestor con la lona superior ha sido adaptado para contraerse y expandirse en función de la demanda y la producción de biogás en el digestor.

La presión interior del digestor ira regulada con la válvula de seguridad y estará en torno a los 12-15 mbar.

2.11 PRIMERA CARGA DEL DIGESTOR

Una vez que se ha hecho la conexión de la salida del gas a la válvula de seguridad y se ha cerrado la llave de paso, aislando el conjunto (no es necesario haber realizado todas las conexiones de biogás en este momento, ya que la producción del gas se demora unas semanas), se realizará la primera carga del digestor.

Se adiciona la mezcla de purín al alimentador, no necesariamente en las proporciones de agua y sustrato indicadas.

Una vez completa la primera carga, se comenzará a alimentar el digestor diariamente, tal y como se ha diseñado, para cubrir toda la demanda de purín generado en la granja.

2.12 USO FINAL DEL BIOGÁS

La aplicación a la que se destinará principalmente el biogás es a uso como combustible para el motor que se seleccionará (el propósito es producir electricidad mediante un generador movido por este motor).

Antes de la entrada al motor, se colocará una llave de paso para poder realizar mantenimientos en el motor y cortar el paso de biogás hacia él, así como una T para otro posible uso del biogás.

2.13 USO DEL BIOFERTILIZANTE

El uso del biofertilizante aporta una solución medioambiental para los residuos generados en la granja, ya que reduce la carga de olor 95 veces respecto al purín fresco, y da lugar a un biofertilizante más homogéneo, con nutrientes más mineralizados y de mejor absorción por los cultivos. De esta manera, se consigue menor uso de fertilizantes de origen químico y menor contaminación de suelos y aguas que con el purín fresco.

2.14 OTRAS CONSIDERACIONES

Resulta obligado atender el mantenimiento comentado en los puntos anteriores: nivel de agua en la válvula de seguridad, purgado de las conexiones, estado de apertura de las válvulas, etc.

La fosa donde esté alojado el digestor debe estar protegida con algún tipo de cercado que impida que los animales puedan acercarse y dañar el digestor. Y esta fosa debe tener en los taludes una inclinación de unos 60° para evitar que la tierra caiga y se desmorone.

Si el digestor está situado en una ladera, se deben construir excavaciones paralelas a la zanja para desviar el agua de la lluvia, evitando así la inundación de la misma, en caso de que no exista un sistema de drenaje. Si los caudales

de lluvia se prevén excesivos, habrá de procederse a tapar las tuberías de entrada (si no existe tanque de alimentación) y salida del digestor para impedir que se introduzca agua por las mismas.

No se debe incorporar estiércol seco o grandes cantidades de estiércol fresco sin previa dilución pues de otro modo se producirá la acumulación de sedimentos en el fondo de la bolsa.

Debe evitarse que el agua de lavado de la granja, en caso de emplearse, contenga sustancias detergentes, ya que podrían inhibir el proceso de digestión.

2.15 ELECTRICIDAD ANUAL PRODUCIDA CON EL BIOGÁS GENERADO

Para el cálculo eléctrico, vamos a utilizar la cantidad de metano que se produce a partir del volumen de biogás, ya que conocemos el poder calorífico del metano y hemos calculado anteriormente la cantidad de metano producida, anual y mensual.

El poder calorífico del metano es de 8.560 kcal/m³. Por consiguiente, vamos a tomar la cantidad anual y mensual de metano que se produce para poder calcular la cantidad de electricidad producida y así saber que porcentaje de la demanda de la granja se cubrira con la producción de biogás.

Sabiendo que un 1 kWh equivale a 860 kcal.

El rendimiento eléctrico mínimo viene estipulado en el RD 661/2007, y el valor que se tomará para los cálculos será el de 45%.

Es decir:

Potencia eléctrica \leq 1 MW. η eléctrico mínimo = 45 %

ANUAL

Metano anual = 76.196,4 m³ \times 8560 kcal/m³ = 652.241.184 kcal

En kWh son: 652.241.184 /860 = 758.420 kWh

La cantidad obtenida son los kWh antes de entrar al motor. Como por normativa el rendimiento mínimo eléctrico es del 45%, se realizaran los cálculos con este valor. Así obtendremos los kW generados en el caso más desfavorable.

kWh a la salida del motor (generados al año) = 758.420 \times 0,45 = 341.289 kWh

Vamos a suponer que el motor debe tener un funcionamiento anual de 8760 horas, que es todos los días del año, la potencia que tiene este se obtendrá dividiendo los kWh anuales para las horas de funcionamiento del mismo.

Potencia del motor = 341.289/8760 = 39,36 kW

Estos cálculos se han realizado para obtener una potencia orientativa del motor que necesitamos instalar para poder quemar todo el biogás generado y, así poder seleccionar uno. Posteriormente, con el motor ya seleccionado, se realizarán los cálculos con su rendimiento para saber realmente cual es la producción eléctrica real del biogás que se genera en la granja.

2.16 PRESELECCIÓN DEL MOTOR

El motor generador que se debe instalar en esta granja de 650 madres, es uno de 39,36 kW ya que tiene que ser capaz de cubrir toda la producción de biogás, aunque la demanda eléctrica que tengamos sea menor.

Tenemos 5 opciones a instalar.

- 1- El *Filius* 104 de la empresa 2G cogeneración con sede en Lérida.



Figura 2.13 Generador Filius 104.

Fuente: http://www.2-g.com/module/dateidownload/biogas_b.32_s_1.3.pdf

Módulo	Potencia eléctrica	Potencia térmica	Eficiencia eléctrica	Eficiencia térmica
Filius 104	50 kW	70 kW	35,3 %	49,8 %

Tabla 2.7 Potencias y rendimientos del motor Filius 104. Fuente: <http://www.2-g.com/es/filius-7/>

- 2- El 50 GFT de la empresa Weifang Naipute Gas Genset Co., Ltd.



Figura 2.14 Generador 50 GFT. Fuente: <http://gas-gensets.es/2-4-3-50kw-biogas-genset.html>

Modelo general grupo electrógeno		50 GFT
Estructura	Integral	
Método de excitación	AVR sin escobillas	
Potencia nominal (kVA/kW)	62,5/50	
Corriente nominal (A)	82	
Voltaje nominal (V)	440	
Frecuencia nominal (Hz)	60	
Potencia nominal factor	0,8 LAG	
Dimensión general (L×W×H) (mm)	2.250×840×1.300	
Peso neto (kg)	1.000	
Motor	Modelo	NR65D5.8
	Tipo	En línea, 4 tiempos, control encendido eléctrico
	Nº Cilindros	6
	Desplazamiento total (L)	6,5
	Proporción de compresión	11,5
	Potencia nominal (kW)	58
	Recuperación energía térmica (kW)	72
	Velocidad nominal (r/min)	1.800
	Combustible	Biogás (CH ₄ ≥ 55%)
	Consumo máximo de calor	11,2
Panel de control	Marca NPT 100 KZY	Pantalla LCD
	ATS	SKT1-100
	Módulo de control	Smartgen HGM6320
Alternador	Modelo	XN224D
	Marca	MBH (Alemania)
	Potencia nominal (kW)	50
	Valoración (kVA)	62,5
	Eficiencia (%)	88,2

Tabla 2.8 Potencias y rendimientos del generador 50 GFT

Fuente: <http://gas-gensets.es/2-4-3-50kw-biogas-genset.html>

3- El AQL 50 de Aqualimpia Engineering empresa ubicada en Alemania.

Figura 2.15 Generador AQL 50. Fuente: <http://gas-gensets.es/2-4-3-50kw-biogas-genset.html>

	Standby (kVA)	50
	Model	AQL 50
Standby power	kVA/kW	50/40
Prime power	kVA/kW	45/36
Frecuency	Hz	60
Rated voltaje	V	480
Model	-	4BTAA
Displacement	L	3,9
Speed	RPM	1.800
Compression ratio	-	10:1
Cooling method	-	Wáter cooled
Brand alternator	-	Leroy Somer
Model	-	LSA 42,3 S5
Phase	-	3 phases, 4 wires
Controller type	-	DeepSea DSE7320
Display	-	LCD
Fuel	-	Biogás
Gas inlet pressure	KPa	1-5,5 kPa
Dimensión (open type)	mm × mm × mm	1.950 × 1.000 × 1.450

Net weight (open type)	kg	1.000
Biogas consumption	m ³ /kWh	0,58

Tabla 2.9 Potencias y rendimientos del generador AQL 50. Fuente: <http://www.aqualimpia.com/PDF/Generadores.pdf>

4- El de MOPESA, empresa ubicada en México, es de 40 kW.



Figura 2.16 Generador MOPESA DE 40 KW. Fuente: <http://www.mopesa.com.mx/pdf/M6014.pdf>

Potencia Motor Nominal @ 1800 r.p.m	67 B.H.P	Potencia del generador	76kWe / 95kVA
Potencia Motor Continua @ 1800 r.p.m	54 B.H.P	Modelo	GTA201AIHE
R.P.M	1.800 RMP	Servicio Stand by.	76 kWe / 95kVA
Combustible	Biogás	Continuo	64 kWe / 80kVA
Tipo de encendido	Electrónico	Tensión	220 V a 440 V
Tipo de aspiración	Natural	Factor de potencia	0,8
Cilindros	6	Frecuencia	60 Hz
Diámetro	100.96 mm	Brida	SAE 3
Cilindrada	6,1 L	Generador	H
Sistema de enfriamiento	50% Agua y 50% anticongelante	Amperaje	220V- 120 A 440V- 60A

Relación de Compresión	12,5:1	Regulación de Tensión Integrado	Electrónico
Consumo combustible a plena carga	33m ³ /h	Tipo de refrigeración	Abierto Autoventilado (Estándar)

Tabla 2.10 Potencias y rendimientos del generador MOPESA 40 kW. Fuente: <http://www.mopesa.com.mx/pdf/M6014.pdf>

5- El OEKO 45 BG de la empresa Biobestenergy ubicada en España.

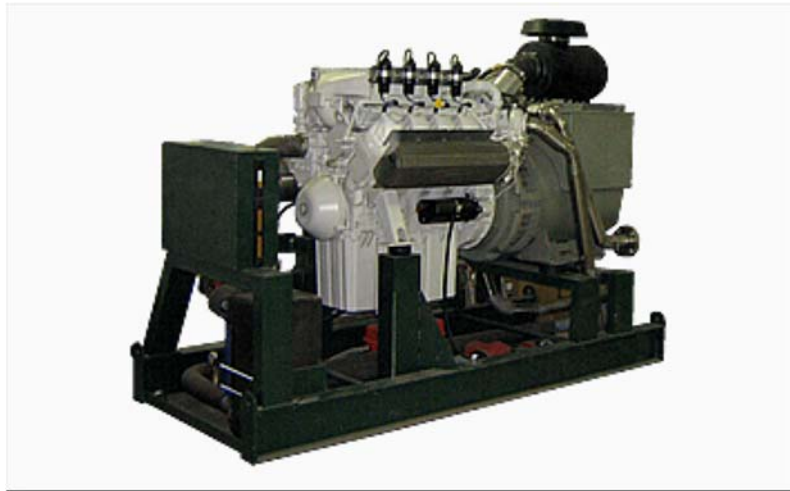


Figura 2.17 Generador OEKO 45 BG. Fuente: <http://www.biobestenergy.com/docs/cogeneracion.pdf>

MODELO /POTENCIA	OEKO 45 BG
Salida continua	
Eléctrico kW	45
Térmico kW	72
Energía entrada kW	135
Tipo de motor	MAN E 08834 LE302
Cilindros	4
Cilindrada	4580 cm ³
Eficiencia	
Generador (%) cos phi=1	92,7
Eléctrico (%)	33,3
Térmico (%)	53,3
Total (%)	86,6

Temperaturas	
Salida máx °C	85
Entrada máx °C	70
Gases de escape °C	180
Dimensiones	
L × Al × An (m)	1,8 × 1 × 1,7

Tabla 2.11 Potencias y rendimientos del generador OEKO 45 BG. Fuente: <http://www.biobestenergy.com/docs/cogeneracion.pdf>

2.17 SELECCIÓN DEL MOTOR

Con estas 5 opciones de motores vamos a seleccionar el que mejor se adapte a la instalación que vamos a realizar. Si la producción es similar, nos decantaremos antes por uno de origen español para poder obtener los repuestos de una manera más breve.

Vamos a pasar a calcular cual va a ser la producción eléctrica real con nuestra producción de biogás. Así sabremos si el motor cubrirá nuestra demanda, y nos podremos decantar por uno u otro.

Vamos a suponer que todos los motores están funcionando las 8760 horas que tiene un año.

Tal y como se ha indicado en el punto 2.15: 1kWh equivale a 860 kcal

1-

Metano anual = $76.196,4 \text{ m}^3 \times 8560 \text{ kcal/m}^3 = 652.241.184 \text{ kcal}$

Como el rendimiento térmico del motor seleccionado es del 49,8%

Las kcal que se aprovecharan al año serán de $652.241.184 \times 0,498 = 324.816.109$

En kWh son: $324.816.109 / (860 \text{ kcal/kWh}) = 377.693 \text{ kWh}$

La cantidad obtenida son los kWh después del motor de combustión. Para el cálculo de los kW a la salida del generador tendremos que aplicarle el rendimiento eléctrico del mismo, que es del 35,3%.

kWh a la salida del generador (generados al año) = $377.693 \times 0,353 = 133.325 \text{ kWh}$

Potencia del motor = $133.325 / 8760 = \underline{\underline{15,21 \text{ kW}}}$

El valor obtenido, nos indica que este motor es valido para nuestra instalación. Ya que habiamos tomado el valor de consumo pico de 13,54 kW, que es el más desfavorable y sólo puede darse con todos los equipos eléctricos conectados a la vez.

2-

El motor chino es el que tiene el rendimiento menor. Además de el inconveniente de tener que traer los repuestos desde China en caso de rotura. Por lo tanto, va a quedar descartado, por no cumplir un requisito imprescindible como es el de los repuestos.

3-

Este generador no nos da los valores de rendimientos eléctricos ni mecánicos, pero sí que nos da información del consumo de biogás por kW producido. Así que vamos a comprobar que producción eléctrica nos podría dar con el biogás producido.

El biogás diario que se puede producir es:

Biogás anual dividido por el número de horas anuales

$$126.994 \text{ m}^3 / 8.760 \text{ horas} = 14,49 \text{ m}^3$$

Este generador consume $0,58 \text{ m}^3$ por kWh. Por lo tanto la producción que se puede obtener es de $14,49 / 0,58 = \underline{25 \text{ kW}}$

El valor obtenido, nos indica que este motor es valido para nuestra instalación. Ya que habiamos tomado el valor de consumo pico de 13,54 kW, que es el más desfavorable y sólo puede darse con todos los equipos eléctricos conectados a la vez, algo poco probable. Este es un buen motor, ya que con nuestra producción de biogás vamos a producir más electricidad de la necesaria, lo que significa que quedaría un poco sobredimensionado para lo que necesitamos en la explotación.

4-

Este generador no nos da los valores de rendimientos eléctricos ni mecánicos, pero sí que nos da información del consumo a plena carga. Así que vamos a comprobar que producción eléctrica nos podría dar con el biogás producido.

El biogás diario que se puede producir es:

Biogás anual dividido por el número de horas anuales

$$126.994 \text{ m}^3 / 8.760 \text{ horas} = 14,49 \text{ m}^3$$

Este generador consume $33 \text{ m}^3/\text{h}$ a plena carga. Por lo tanto, no nos interesaría ya que no se le podría sacar el máximo partido debido a una falta de producción de biogás en la explotación. Además, siendo de 40 kW , quedaría un poco sobredimensionado para la explotación.

5-

$$\text{Metano anual} = 76.196,4 \text{ m}^3 \times 8.560 \text{ kcal/m}^3 = 652.241.184 \text{ kcal}$$

Como el rendimiento térmico del motor seleccionado es del 53,3%

$$\text{Las kcal que se aprovecharán al año serán de } 652.241.184 \times 0,533 = 347.644.551$$

En kWh son: $347.644.551 / (860 \text{ kcal/kWh}) = 404.237,85 \text{ kWh}$

La cantidad obtenida son los kWh después del motor de combustión. Para el cálculo de los kWh a la salida del generador tendremos que aplicarle el rendimiento eléctrico del mismo, que es del 33,3%.

kWh a la salida del generador (Generados al año) = $404.237,85 \times 0,333 = 134.611,2 \text{ kWh}$

kW de potencia del motor = $134.611,2 / 8.760 = \underline{15,36 \text{ kW}}$

El valor obtenido, nos indica que este motor es válido para nuestra instalación. Ya que habíamos tomado el valor de consumo pico de 13,54 kW, que es el más desfavorable y sólo puede darse con todos los equipos eléctricos conectados a la vez.

Valoración Final

Una vez estudiados los cinco motores disponibles para instalar vamos a decidir cual se debe colocar. El número 1 y el número 5 tienen la ventaja de que son españoles o con sede en España, siendo muy interesante a la hora de necesitar cualquier tipo de repuesto o asistencia. No obstante, como el 5 tiene mejor rendimiento que el 1, descartaremos el 1.

El número 4 sería un motor sobredimensionado, ya que para llegar al máximo de producción se tendría que producir en la granja casi el doble de biogás (cosa imposible). Por lo tanto, este también queda descartado. Además de que su fabricación es en México.

Según el estudio el número 3 es el que más producción nos va a dar, aun que al no tener los valores de rendimiento, no se puede saber el porcentaje de pérdidas que puede tener, respecto a los kWh por cada 0,58 m³ de biogás. El inconveniente que tiene es que es un motor que se produce en Alemania.

Por lo tanto, la opción que se va a tomar para este proyecto es la 5, que es el OEKO 45 BG, de producción española y que con la producción actual de biogás va a cubrir los 13,54 kW pico. De hecho, después del estudio, nos ha dado una producción de 15,36 kW

Es preciso puntualizar que los generadores con los que cuenta la granja no deberían desaparecer y podría dejarse uno de apoyo para el generador de biogás.

Por consiguiente, el OEKO 45 BG resulta más que suficiente para satisfacer las necesidades de la explotación en estudio.

Se pensó también la posibilidad de instalar una microturbina (que tiene un menor mantenimiento por tener solo el eje principal móvil) pero se descartó por su escasa utilización actual, escaso número de proveedores y tratarse de un sistema relativamente complejo para el usuario final.

2.18 OTROS DATOS

El calor generado en el motor no se va a poder aprovechar para la calefacción de la granja, ya que en las granjas modernas el sistema de calefacción funciona por suelo radiante eléctrico. Y en las más antiguas, será mucho más costoso el entramado de tuberías aisladas desde el motor a los calentadores, que el ahorro que suponga usar ese calor.

No obstante, en las granjas más antiguas que tengan calentadores de gas, sería posible utilizar el biogás generado para alimentar estos calentadores con un ahorro de costes del consumo de gas.

El biofertilizante generado en el digestor se puede utilizar para abonar el terreno. Su puede llegar a utilizar 60.000 litros de biofertilizante para regar una hectárea de terreno, como si de un fertilizante sintético o artificial se tratará.

En el caso en el que el digestor se instale en un lugar en el que no haya conexión eléctrica, habrá que colocar unas baterías para tener electricidad disponible en los momentos en los que el motor pudiera parar por una avería.

El motor se ha seleccionado suponiendo que el rango de utilización es de todos los días del año y las 24 horas del día (circunstancia que no se debería dar ya que reduciríamos la vida útil del generador rápidamente e interesa que dure el máximo de años posible).

Por lo tanto, el biogás que no se use en el motor, o habrá que aprovecharlo de otra manera o se tendrá que quemar en la antorcha. De cualquier modo, supone un beneficio al medio ambiente al no emitir metano directamente, ya que el CO₂ tiene menor poder contaminante que el metano.

Capítulo 3:

3 LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS Y A LA DIGESTIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

3.1 MARCO LEGISLATIVO

La siguiente relación de normas referentes a la obtención y comercialización del biogás en relación con el sector agrícola intentan dar una visión clara del marco legislativo en España.

3.1.1 Legislación de la Unión Europea

- Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Reglamento (CE) N° 1774 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
- Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).
- Reglamento (CE) N° 185/2007 de la Comisión, de 20 de febrero de 2007, por el que se modifican los Reglamentos (CE) n° 809/2003 y /CE) n° 810/2003 en lo relativo a la validez de las medidas transitorias para las plantas de compostaje y biogás contempladas en el Reglamento (CE) n° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Reglamento (CE) N° 92/2005 de la Comisión, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de los subproductos animales y se modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas.
- Reglamento (CE) N° 208/2006 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas

de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.

3.1.2 Legislación nacional

- Resolución del MITYC de 7 de abril de 2010, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publican los valores del coste de la materia prima y del coste base de la materia prima del gas natural para el primer trimestre de 2010, a los efectos del cálculo de complemento de eficiencia y los valores retributivos de las instalaciones de cogeneración y otras en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración.
- Plan de Energías renovables 2005-2010 (aprobado en el Consejo de Ministros 26 de agosto de 2005).
- Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

Toda la normativa referente a producción de energía eléctrica en régimen especial no va a afectar a este proyecto, ya que toda la energía eléctrica producida va a ser para autoconsumo.

3.2 MATERIAS PRIMAS

En lo referente a las materias primas, la normativa que se debe aplicar va a depender de su origen. El artículo 1 de la Directiva 2008/98/CE define su objeto y ámbito de aplicación como “medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.

Por tanto, la nueva Directiva de Residuos únicamente es de aplicación a los subproductos de origen animal cuando van a ser procesados en una planta de biogás y también es de aplicación al digestato resultante del proceso de metanización.

En consecuencia, de este artículo se desprende que a un subproducto de origen animal, como el estiércol, no le es de aplicación la Directiva de residuos cuando es valorizado directamente en la agricultura, pero sí le es de aplicación dicha Directiva al digestato procedente de la metanización del estiércol.

La Directiva, también incorpora, por primera vez, la definición de subproducto. Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo con arreglo al artículo 3, punto 1, únicamente si se cumplen las siguientes condiciones:

- Es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente.
- La sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal.
- La sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción.
- El uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y no producirá impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.

3.3 REQUISITOS LEGALES Y AUTORIZACIONES NECESARIAS PARA LAS INSTALACIONES SEGÚN SU ACTIVIDAD

Las tramitaciones ambientales que pueden afectar a una planta de biogás, las cuales se estudian en mayor profundidad en las líneas siguientes, son: autorización ambiental integrada o licencia ambiental, estudio de impacto ambiental, autorización de gestor de residuos no peligrosos, autorización de vertido a cauce o al colector municipal y otro tipo de tramitaciones posibles como autorización de uso en suelo rústico, autorización de captación de aguas...

Por otra parte, la normativa básica a consultar, es la que a continuación se detalla:

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación para la que se debe presentar la autorización ambiental correspondiente, correctamente cumplimentada.
- Ley de Prevención Ambiental, de la comunidad autónoma que corresponda. Se deberá adjuntar: autorización ambiental, licencia ambiental y estudio de impacto ambiental de la explotación.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental. Se presentará debidamente cumplimentado el estudio de impacto ambiental.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, para lo que se requiere la autorización de gestor de residuos no peligrosos.
- Reglamento de Dominio Público Hidráulico (DPH), para el que serán necesarias las autorizaciones de vertido, de captación y las Ordenanzas Municipales correspondientes, para las que se requerirán las autorizaciones de vertido pertinentes.

- Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Será necesaria la autorización de vertido al Dominio Público Hidráulico (DPH) correspondiente.

Las tramitaciones administrativas necesarias para las instalaciones de biogás, son:

a) Autorización Ambiental: El objetivo de las autorizaciones ambientales es el establecimiento de un sistema de prevención que integre en una autorización única las autorizaciones existentes en materia de vertido de aguas residuales, producción y gestión de residuos y emisiones a la atmósfera. Por ello las autorizaciones ambientales integran las autorizaciones de vertido, autorizaciones de gestor de residuos, autorizaciones de productor de residuos, declaración de impacto ambiental y la autorización de actividad potencialmente contaminadora de la atmósfera.

Los documentos necesarios que deberán adjuntarse a la autorización ambiental son:

- Proyecto Básico: el proyecto básico deberá contener la descripción de las actividades, instalaciones, procesos y tipo de producto; documentación para la obtención de licencia municipal de actividades; informe de estado ambiental de lugar e impactos previstos; materias primas, sustancias y energía generados y empleados en la instalación; fuentes generadoras de emisiones: tipo y cantidades; medidas de prevención y gestión de residuos; y sistemas de emisiones y vertidos.
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Documentación necesaria para la Autorización de Gestor y Productor de residuos.
- Datos atmosféricos de la zona en cuestión.
- Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; CIF de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; informe de compatibilidad urbanística del ayuntamiento; resumen no técnico; cualquier otra documentación que puedan solicitar: modelización de residuos, de los niveles de emisión atmosférica, estudio de situación del suelo...

b) Licencia Ambiental: La documentación necesaria para la correcta cumplimentación de licencia ambiental, que deberá ser presentada, es:

- Proyecto Básico: con la documentación señalada en el punto anterior.
- Autorización de vertido.
- Estudio de impacto ambiental, si fuese necesario.

- Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; CIF de la empresa; autorización de suelo rústico, en el caso que proceda; y resumen no técnico.

c) Estudio de Impacto Ambiental: La normativa de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, es el Real Decreto Legislativo 1/2008. Por otra parte, el estudio de impacto ambiental se presentará en el caso de las autorizaciones ambientales, junto al resto de documentación necesaria en la consejería de Medio Ambiente. Mientras que en el caso de las licencias ambientales, se presentará en el órgano sustantivo pertinente (existen opiniones dispares entre los ayuntamientos o las consejerías de Medio Ambiente correspondientes).

d) Autorización para la valorización o eliminación de residuos: La normativa de referencia es la Ley 10/1998 de residuos. La autorización de gestor de residuos es necesaria cuando se utilice un residuo para su valorización. Hoy en día, sí que es necesaria para las instalaciones de biogás y de compostaje, según la consejería de Medio Ambiente correspondiente, aunque en un futuro su regulación se basara en la nueva Directiva Marco de Residuos.

3.4 SUBVENCIÓN PARA LA GESTIÓN DE LOS PURINES

En lo que respecta a Aragón y por lo tanto al presente proyecto se ha creado una subvención de la cual podría beneficiarse la persona que mejorase su instalación para hacer una gestión de los purines más eficiente.

ORDEN DRS/735/2016, de 8 de julio, por la que convocan subvenciones para la gestión de los purines generados en explotaciones porcinas de la Comunidad Autónoma de Aragón para el año 2016.

El constante desarrollo del sector porcino y el crecimiento de su cabaña ganadera, así como su sistema productivo de intensificación, ha conducido durante las últimas décadas a un incremento progresivo de los subproductos generados en las explotaciones ganaderas repercutiendo en el medio ambiente a través de la emisión de gases, contaminación de las aguas y el exceso de nitrógeno en las parcelas agrícolas. Además, en muchas zonas de nuestra Comunidad Autónoma no existe suficiente superficie agrícola para asimilar el nitrógeno procedente de las deyecciones ganaderas, haciéndose necesario potenciar los tratamientos en origen con la finalidad de que los nutrientes procedentes de los purines de zonas de alta concentración de explotaciones porcinas puedan ser aprovechados en otras zonas. Por otra parte, como consecuencia de la publicación de la Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, se cerraron las plantas de secado de purines con cogeneración que operaban en Aragón y que trataban los purines que no podían ser utilizados como fertilizantes en zonas de alta carga ganadera. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio

Ambiente, debido al elevado coste de la aplicación del régimen de cogeneración en las plantas de tratamiento de purines, consideró necesario financiar medidas alternativas de gestión de purines, como solución a corto plazo, para paliar, por parte de las comunidades autónomas, los riesgos de contaminación medioambiental. Mediante Real Decreto-Ley 10/2014, de 1 de agosto, por el que se conceden créditos extraordinarios y suplementos de crédito en el presupuesto de los Ministerios de Asuntos Exteriores y de Cooperación, de Defensa y de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se procedió a la concesión de un crédito extraordinario por importe de 10.000.000 de euros, para el desarrollo de actuaciones en relación con la gestión alternativa de los purines. El Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad pretende, mediante la publicación de esta convocatoria de subvención, disminuir la repercusión del cierre de las plantas de secado de purines con cogeneración subvencionando la adquisición de la maquinaria y equipamiento necesario para la preservación y mejora del entorno natural en la gestión de purines de las explotaciones porcinas, como pueden ser la creación de infraestructuras de gestión de los purines e instalación de sistemas de tratamiento, la compra de cisternas para el transporte, la compra de equipos de aplicación de purines en el suelo que se puedan adaptar a cisternas que no lo lleven incorporado, equipos de medida de los nutrientes, la compra de balsas móviles o la construcción de balsas.

Artículo 4. Actividades subvencionables

1. Podrán ser objeto de subvención las actividades de construcción o adecuación de sistemas de tratamiento y gestión de purines y la adquisición de maquinaria y equipamiento, entre otras:

- a) Creación de infraestructuras para la gestión de purines
- b) Instalación de sistemas de tratamiento de purines individuales o colectivos
- c) Adquisición de cisternas para el transporte
- d) Adquisición de equipos de aplicación de purines en el suelo
- e) Adquisición de balsas móviles de almacenamiento de purines
- f) Construcción de balsas de almacenamiento de purines

2. Quedan excluidas de la subvención las siguientes actividades:

La construcción o adecuación de balsas de almacenamiento de purines u otras infraestructuras para el cumplimiento de la normativa nacional o comunitaria vigente con respecto a las explotaciones porcinas en materia de medioambiente, y otras materias relacionadas como la sanidad o el bienestar de los animales.

3. No podrán ser objeto de subvención actividades ya realizadas antes de la fecha de presentación de la solicitud de subvención.

Por ejemplo en Andalucía se está aplicando ya una subvención directa para la construcción de digestores con unas cuantías muy adecuadas para poder realizar este tipo de proyecto. Se otorgan:

- a) Para digestores rurales con capacidad inferior a 1.000 m³: hasta 115 €/m³ de digestor.
- b) Para digestores rurales con capacidad entre 1.000 m³ y 2.000 m³: hasta 105 €/m³ de digestor.
- c) Para digestores rurales con capacidad superior a 2.000 m³: hasta 95 €/m³ de digestor.

Lo que esto significa es que igual que se aplica en esa comunidad autónoma en el momento que se verifique que funciona bien y que es una subvención bien aprovechada podría pasar aplicarse en el resto de comunidades autónomas con criterios similares.

También se podría resaltar que de acuerdo al borrador del Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER), por el cual se pretende establecer una política energética a nivel Nacional, y el cada vez más importante Mercado de Emisiones de CO₂, CH₄ y NO₂ cuyos cimientos se establecieron en el protocolo de Kioto, este tipo de instalaciones serán muy consideradas de aquí en adelante y pueden llegar a percibir unas importantes subvenciones para poder así realizar proyectos lo más tecnificados y eficientes posibles.

Los principales motivos para tal afirmación se explican a continuación:

- Captura del CH₄ que proviene de los residuos agroindustriales que de otra forma serían vertidos al medio ambiente sin ningún aprovechamiento energético.
- Producción de energía eléctrica Nacional, sin importar ningún tipo de combustible exterior, por lo que ayuda a suplir el déficit que posee España con respecto a la dependencia energética exterior.
- La digestión del 30% de los 78,87 millones de toneladas por año de subproductos agroindustriales reducirían las emisiones de Gases de Efecto Invernadero 3.400.747 t. de CO₂-eq/año (Por emisiones evitadas en la generación eléctrica y "Gestión de Estiércoles"), que a un precio medio del derecho de emisión de 20 €/t de CO₂, suponen 68 millones de euros anuales que pueden ahorrarse en la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.
- Capacidad para cerrar un ciclo que hasta ahora podía crear problemas de contaminación de diferente índole y sin lograr aprovechamiento energético alguno.
- Revitalización del sector primario español y aumento de su competitividad dentro del marco Europeo.

Capítulo 4:

4 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se va a realizar el estudio económico de la instalación a llevar a cabo. Se va a determinar el tiempo que va a costar recuperar la inversión, mediante lo que nos vamos a ahorrar reduciendo el consumo de gasoil del generador con motor de combustión con el que cuenta la explotación.

4.1 COSTES DE LA INSTALACIÓN DEL DIGESTOR

Los costes que conlleva la instalación del digestor se corresponden con los siguientes elementos:

- Depósito
- Cubierta
- Circuito refrigeración motor
- Agitador
- Tubos de entrada afluente y salida de efluente
- Línea de biogás
- Motor OEKO 45 BG

4.1.1 Depósito

En primer lugar, tenemos que hacer un depósito con sus correspondientes revestimientos y refuerzos para meter el purín a digerir. Tiene que tener una capacidad mínima de 341 m³ para soportar la carga de purín mensual, pero como tiene que entrar también el biogás, el volumen mínimo final se estima en 454 m³.

Para que no haya problemas de volumen de ningún tipo, la sobredimensionaremos hasta los 500 m³, con lo que cumplirá sin problema puesto que hay que considerar que se gana volumen al colocar la cubierta (que cuando se hincha, debido a la presión del biogás, pueden permitir almacenar hasta un 25-30% más del volumen total de la piscina). De este modo, en nuestro digestor entrará una cantidad de biogás que permitirá el funcionamiento del motor sin que pueda haber una interrupción de suministro en ningún momento.

Se podría resaltar también que de esta manera podemos almacenar purín en el digestor para un periodo superior al mes. Así, durante el periodo frío del año en el que con la calefacción no se llegase a alcanzar la temperatura óptima para la digestión, se podrá seguir obteniendo la cantidad adecuada de biogás alargando la estancia del purín unos 10 días más en el interior del biodigestor.

Para la instalación elegimos un depósito de la empresa Tolmet, ubicada en Vilanova de la Barca (Lérida). Será de chapa galvanizada, revestido con los correspondientes aislantes para evitar la corrosión del purín. Lo situaremos bajo tierra, para que podamos rodearlo de tuberías (por las que circulara el

agua caliente proveniente de la refrigeración del motor de biogás) y así no tener pérdidas por estar en contacto con la temperatura del exterior. Además, las tuberías de entrada y salida del purín de la granja están bajo tierra.

Las dimensiones serán de: 16 m de diámetro × 2,5 m de profundidad.

El precio del depósito es de 5.200 € y a ese precio habrá que sumar unos 900 € de la excavación, junto con la colocación de una cama de arena en el fondo y un entramado metálico para soportar los tubos de agua junto al depósito. Es preciso aclarar que el nuevo depósito no necesitará de un vallado ya que al estar cubierto no es necesario (así además se facilitan las labores de mantenimiento y algún otro proceso que interese hacer al digestor).

La balsa de purines con la que ya cuenta la explotación será utilizada para almacenar el biofertilizante que salga del digestor. Se ha descartado su adaptación para construir el digestor porque tiene unas dimensiones excesivas y porque el recubrimiento de la balsa supondría una inversión muy superior a lo que costará el depósito nuevo.

4.1.2 Cubierta

La cubierta deberá tener una superficie igual a:

$$A = \pi \times r^2 = \pi \times 8^2 = 201 \text{ m}^2$$

Como ya se comentó con anterioridad, deberá ser una geomembrana de alta densidad para recubrimiento con unas propiedades elásticas especiales además de tener que soportar una considerable presión y corrosión.

El precio está en torno a los 2.500 €

4.1.3 Circuito de refrigeración del motor

El circuito de refrigeración del motor es una simple conducción de agua por tubos de plástico térmicamente resistentes que transporta el calor desde el motor en funcionamiento hasta el digestor, en torno al cual da varias vueltas para volver con el agua a menor temperatura de nuevo al motor. De esta forma conseguimos refrigerar el motor y calentar el digestor para reducir al mínimo el tiempo de retención hidráulica del purín.

Como los tubos hasta el digestor tienen que ir enterrados para no molestar en la superficie de la explotación el precio de la instalación estará en torno a los 700 €.



Figura 4.1 Tuberías para calentar el purín. Fuente: Producción Biogás Granja Marujo

También hay que instalar una bomba para la recirculación del agua y la elegida es de la empresa Evoplus, modelo 120/250 4 M, caudal máximo: 4 m³/h, presión máxima: 12 m.c.a., potencia: 0,4 kW y precio de 135 €.

4.1.4 Agitadores

El agitador que elegiríamos sería un agitador de la serie TBX sumergible e inoxidable de la empresa Albiar, ubicada en San Mateo de Gállego (Zaragoza).



Figura 4.2 Serie TBX Agitadores sumergibles inox. Fuente: Empresa Albiar

Las características del agitador son las siguientes:

Modelo	Potencia kW	Voltaje	Amperios 400V	rpm	Caudal m ³ /h	Fuerza Axial N	Peso Kg	Precio €
TBX 1,1/4	1,1	400	2,8	1380	372	223	19	1546

Tabla 4.1 Características agitador. Fuente: Empresa Albiar

Al precio que indica la tabla habría que sumarle el precio del soporte, el IVA y restarle un 10% de descuento por lo tanto se nos quedaría en:

$$1.546 + 236 = 1.782 + (1.782 \times 0,21) = 2.095 - (2.095 \times 0,1) = 1.885 \text{ €}$$

Para el correcto funcionamiento del proceso de agitación, favorecer la mezcla, evitar corrientes preferentes y evitar sedimentación en el depósito, se recurrirá a la instalación de 2 agitadores correctamente orientados. Por lo tanto, el precio final será de **3.770 €**.

4.1.5 Tubos entrada afluente y salida de efluente

Los tubos de entrada y salida del depósito serán tuberías normales como las que tiene la explotación para la propia balsa de purín, con la única peculiaridad de que en la instalación habrá que levantar el tramo final de tubería que alimenta la balsa de la explotación para redirigir el flujo de purines a el nuevo depósito.

El precio del nuevo tramo de tubería y el tramo de salida a la balsa de purines será de unos **300 €**, ya que será necesario el uso de maquinaria para excavar.

4.1.6 Línea de biogás

Contará con un tramo de tubería para el biogás, un quemador, un filtro de gases y dos válvulas para regular el caudal de gas.

El quemador de antorcha elegido, de la empresa Emison tiene un tipo de antorchas con un quemador cerámico que permite asegurar el quemado de pequeñas irregularidades y de la cantidad necesaria de gas sin riesgos de retorno de llama.

El precio está en torno a los **2.000 €**, ya que elegiremos una antorcha que tenga un funcionamiento automático y que también se pueda accionar de forma manual.

El filtro de biogás que se utilizará será un filtro de ácido sulfhídrico con trampa de agua cuyo precio está en torno a los **450 €**. Es necesario indicar que los propios motores de biogás también suelen llevar incorporado su propio filtro, pero siempre podremos alargar la durabilidad del mismo instalando otro en la línea de gas, para que así le llegue el gas más purificado.

La tubería para el gas que tendrá la instalación será de unos 25 m. A un precio de 10 €/m, el precio total de la tubería para el gas será de **250 €**.

Las válvulas para regular el caudal y poder cerrar el flujo si es necesario estarán en torno a los 60 € cada una, ascendiendo a un total de 120 €.

Como ya se comentó con anterioridad, en el presente documento no es necesaria la instalación de un gasómetro ya que con la cubierta del depósito podremos almacenar gas suficiente como para alimentar al motor durante el tiempo que deseemos.

4.1.7 Motor OEKO 45 BG

Conforme a lo ya indicado en la sección 2.8, el motor tipo seleccionado para la instalación es el modelo OEKO 45 BG de la empresa Biobestenergy, con un precio de 21.000 €.

4.1.8 Coste total

El total de la inversión ascenderá a:

$$5.200 + 900 + 2.500 + 700 + 135 + 3.770 + 300 + 2.000 + 450 + 250 + 120 + 21.000 = \underline{37.325 \text{ €}}$$

Al coste total de los materiales habrá que añadirle un 13% de montaje, mano de obra y gastos administrativos, además de un 6% de beneficio industrial. Por lo tanto, el precio final de la instalación se queda en:

$$37.325 + (37.325 \times 0,13) = 42.177 + (42.177 \times 0,06) = \underline{44.707 \text{ €}}$$

También habrá que tener en cuenta el coste de mantenimiento de la instalación que por lo que he podido investigar en diversos documentos, ese precio se cifra en torno a los 2.300 € en instalaciones de gran tamaño y en esta instalación se supondrá un valor de 1.700 €/año.

Recalcar que la electricidad que consume los agitadores y la bomba de recirculación de agua no están contabilizadas en el gasto total energético que hay en la explotación para el pico eléctrico pero aun así sumando las correspondientes potencias de los dos aparatos la potencia que suministra el motor de biogás seleccionado es suficiente para abastecer a todas las maquinas eléctricas de la explotación. Se puede comentar también que el motor en la mayoría del tiempo no funcionara a máxima potencia ya que en la explotación no se va llegar al pico de consumo casi nunca por no decir nunca ya que, por ejemplo, es casi imposible que los 52 fluorescentes con los que cuenta la granja estén en algún momento encendidos todos a la vez.

4.2 ANALISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

En este apartado se realizan los cálculos que permiten obtener los indicadores principales de rentabilidad de la inversión para este proyecto. Se realizan dos de los tres métodos posibles más usuales. Estos son análisis del valor neto actual (VAN) y *payback*.

Estos son brevemente definidos a continuación:

- VAN: Este método consiste en calcular el valor actual de todas las inversiones anuales y los ahorros netos a lo largo de la vida del proyecto. Sumando todos los valores actuales (los costes se representan en valores negativos y los ahorros en positivos), se obtiene este valor, al que se le llama valor actual neto.
- *Payback*: también denominado periodo de retorno, se define como el tiempo necesario para que el total de los ingresos o ahorros netos anuales de la depreciación obtenida con el proyecto sean iguales al capital invertido. Cuanto menor sea el periodo de retorno, más atractivo resultará el proyecto.

La información que necesitamos para elaborar el análisis de rentabilidad, es:

- Costes totales de la inversión
- Coste del mantenimiento de la instalación
- Ahorro de combustible que supone en cada caso el uso del motor de biogás
- Ahorro en fertilizante (en este caso no se contabilizara ya que, del mismo modo que se utilizaba el purín en las propias tierras del dueño de la granja, se seguirá utilizando el biofertilizante que se obtenga del digestor, pero hay que recalcar los beneficios ambientales que tiene el proceso además de que las propiedades fertilizantes se ven mejoradas como por ejemplo el N orgánico del purín pasa a ser N amoniacal, lo que significa que queda totalmente disponible para las planta.)

4.2.1 Caso A

En este caso, el estudio va a ser con el generador de biogás utilizándolo el máximo de horas posibles, funcionando 5 días a la semana y dándole un descanso de 2 días para no sobrecargar el motor y que la vida útil del mismo sea la máxima posible. Recalcar que los cálculos para la elección de motor se hicieron como si fuera a estar operativo los 365 días al año todas las horas, pero con ese uso la vida del motor se verá reducida considerablemente (cosa que no interesa ya que es la partida más cara de toda la instalación).

El coste total anual de gasoil de la explotación asciende a 30.000 €, precio al que para hacer nuestro estudio habrá que restarle el gasto de la calefacción ya que, con el presente proyecto no vamos a obtener ninguna reducción en lo que a ese gasto respecta. Lo que significa que si en calefacción gastan en la explotación 1.500 L/mes, durante los meses de frío que van desde Octubre a

Marzo la cantidad de gasoil que gastan asciende a 9.000 L/año a 0,56 €/L de gasoil rojo y sabiendo el gasto total de la explotación en gasoil, el dinero que gastan en la explotación para alimentar a los motores generadores de electricidad es de:

$$30.000 - (9.000 \times 0,56) = 24.960 \text{ €/año}$$

Por lo tanto, en el supuesto de este caso con nuestro motor de biogás ahorraremos:

$$24.960 \text{ €/365 días} \text{ --- } 260 \text{ días} = X$$

$$52 \text{ semanas/año} \times 5 \text{ días funcionando/semana} = 260 \text{ días}$$

$$X = 17.779 \text{ €/año}$$

Año	Inversión	Costes de mantenimiento	Ahorro Energético	Balance Final
0	44.707	0	0	-44.707
1	0	1.700	17.779	-28.628
2	0	1.700	17.779	-12.549
3	0	1.700	17.779	3530
4	0	1.700	17.779	19.609
5	0	1.700	17.779	35.688
6	0	1.700	17.779	51.767
7	0	1.700	17.779	67.846

Tabla 4.2 Análisis Rentabilidad Caso A. Fuente: Elaboración propia

VAN en 7 años de 67.846 euros positivos

Payback de 3,78 años

Como podemos observar con los resultados obtenidos en la tabla anterior, para los 7 primeros años de la instalación, la recuperación de la inversión se obtendrá a partir de 3,78 años. Aparte, durante esos 7 años, además de recuperar la inversión, nos ahorraremos unos 67.846 € en combustible.

Este plazo de recuperación de la inversión de 3,78 años se basa en que se mantuviese el precio del gasoil. En caso de que el precio subiera, la inversión se recuperaría mucho antes.

Hay que comentar que la cubierta tiene una vida útil de 15 años, pudiendo llegar hasta los 20 años con un buen mantenimiento. Para los agitadores, el motor y las otras máquinas eléctricas, no se dispone de datos de vida útil. Aunque se incurra en gastos extra con el paso de los años, con los resultados obtenidos se ve claramente que la inversión es rentable.

4.2.2 Caso B

En este caso, el estudio será con el generador de biogás funcionando a tiempo parcial (un día sí, uno no) alternando su uso con 1 ó 2 de los motores de gasoil con los que ya cuenta la explotación, reduciendo así el gasto de gasoil de los motores a la mitad.

Por lo tanto, en el supuesto de este caso con nuestro motor de biogás ahorraremos:

$$24.960 \text{ €}/365 \text{ días} \text{ --- } 182 \text{ días} = X$$

$$52 \text{ semanas/año} \times 3,5 \text{ días funcionando/semana} = 182 \text{ días}$$

$$X = 12.450 \text{ €/año}$$

Año	Inversión	Costes de mantenimiento	Ahorro Energético	Balance Final
0	44.707	0	0	-44.707
1	0	1.700	12.450	-33.957
2	0	1.700	12.450	-23.207
3	0	1.700	12.450	-12.457
4	0	1.700	12.450	-1.707
5	0	1.700	12.450	9.043
6	0	1.700	12.450	19.793
7	0	1.700	12.450	30.543

Tabla 4.3 Análisis Rentabilidad Caso B. Fuente: Elaboración propia

VAN en 7 años de 30.543 euros positivos

Payback de 5,16 años

Como podemos observar con los resultados obtenidos en la tabla anterior, para los 7 primeros años de la instalación, la recuperación de la inversión se obtendrá a partir de 5,16 años. Durante esos 7 años además de recuperar la inversión nos ahorraremos unos 30.543 € en combustible.

Como se ha indicado en el caso A, el plazo de recuperación de la inversión de 5,16 años se basa en que se mantuviese el precio del gasoil. En caso de que el precio subiera, la inversión se recuperaría mucho antes. Los comentarios relativos a la vida útil de la cubierta y a los gastos asociados al mantenimiento de los agitadores, el motor y las otras máquinas eléctricas, son igualmente aplicables.

4.2.3 Caso C

En este caso, el estudio será como en el apartado anterior, pero en el hipotético caso de percibir una subvención (como las que quiere aportar la Comunidad Autónoma de Andalucía).

Por lo tanto, en el supuesto de este caso con nuestro motor de biogás ahorraremos 12.450 €/año, el valor de la inversión será de 44.707 € y el valor de la subvención será igual a:

“Para digestores rurales con capacidad inferior a 1.000 m³: hasta 115 €/m³ de digestor”

$$500 \text{ m}^3 \times 115 \text{ €/m}^3 = 57.500 \text{ €}$$

Con esa cifra de subvención se ve aún más clara la viabilidad de la inversión, ya que es superior al valor de la inversión inicial, pero se podría decir que para una remodelación de la granja como es el caso del presente proyecto sería casi imposible que llegasen a pagar tal suma de dinero. En el caso de que fuera una granja nueva, la suma de dinero de toda la instalación sería mucho mayor, ya que habría sumarle la construcción de la balsa de purines y comprar un motor de gasoil nuevo. Por lo tanto, sería un incentivo muy importante para que la gente se decantase por este tipo de instalaciones a la hora de hacer nuevas granjas.

Capítulo 5:

5 CONCLUSIONES

La principal conclusión que podemos extraer de los resultados obtenidos en este análisis de viabilidad es que este tipo de proyectos son viables o rentables, porque las tres alternativas consideradas nos ofrecen tasas de rentabilidad superiores a nuestros costes de inversión.

También hemos de destacar la importancia del payback, que nos indica en qué plazo vamos a recuperar lo invertido: 3,78 años para la alternativa 1 y 5,16 años para la alternativa 2, lo que para un proyecto de 15 años de vida (como mínimo) implica que las dos opciones planteadas son una buena inversión a nivel económico.

A lo anterior hay que sumar los beneficios medioambientales, en términos de reducción de la contaminación, además de la rentabilidad que obtiene la propia explotación con la producción de biogás por reducir su consumo anual de gasoil de forma considerable.

Por lo tanto, el planteamiento de nuevas granjas intensivas se debería hacer teniendo en cuenta este tipo de instalaciones. Lo mismo es aplicable a instalaciones ya en funcionamiento.

En la actualidad en España el diseño y ejecución de este tipo de proyectos podría suponer una gran oportunidad de negocio, debido a que la implantación es aún muy baja en comparación con otros países.

Como posibles líneas futuras o mejoras, es preciso indicar que el proceso de digestión puede optimizarse mediante la adición de otros residuos orgánicos, haciendo una codigestión de purín + residuos de plantas, residuos de matadero, aceites vegetales... Estas formas de codigestión, que fueron investigadas por la Dra. Elena Campos Pozuelo en su Tesis Doctoral titulada "La optimización de la digestión de purines de cerdo mediante la codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria", pueden tener un gran potencial. Aparte, también podría valorizarse el digestato, comercializándolo como fertilizante natural (en caso de que no se utilizase todo en la finca del dueño de la granja).

Lista de referencias y bibliografía

IDAE (2007) *Biomasa: Digestores anaerobios*.

Ministerio de Ciencia e Innovación (2009) *Cuantificación de materias primas de origen ganadero*.

IDAE (2005) *Ahorro y eficiencia energética en instalaciones ganaderas*.

Bigeriego, M. (2001) *La producción porcina en España y el medio ambiente. Normativa e implementación*.

López Romero, O. (2010) *Estudi del procés de digestió anaeròbia*.

Lagos Susaeta, F. (2013) *Análisis de factibilidad técnica y económica de la generación de biogás a partir de purines mediante biodigestores anaerobios*. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131621>.

Espejo Marín, C.; García Marín, R. (2009) *Tratamiento de purines de ganado porcino en España para minimizar la contaminación de suelos y su impacto ambiental*. En Congreso Internacional sobre Desertificación. Murcia, 16 septiembre, 2009 - 18 septiembre, 2009.

Pozuelo, E.C. (2005) *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante co-digestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria* (Tesis Doctoral, Universitat de Lleida).

Serrano, S.I. (2015) Estudio de viabilidad de la biodigestión como ahorro energético en la industria ganadera en México (TFG, EINA - Escuela de Ingeniería y Arquitectura).

Gonzalez, C.J. (2013) *Diseño de un biodigestor de dos etapas a escala laboratorio*. (PFC, EINA-Escuela de Ingeniería y Arquitectura).

Bayona Villanueva, J. (2010) *Diseño de una instalación de biogás mediante digestión anaerobia y valorización de los residuos obtenidos* (PFC, Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid).

Estevan, C.V.P. (2016) *Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos*. Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Valencia

Páginas web

http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/10bib_arch.pdf

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf

http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_general/63-excretas_cerdos.pdf

http://rembio.org.mx/?page_id=643

http://www.aragon.es/estaticos/Celia/4_6.pdf

<http://www.vinibiodigestor.com.br/>

<http://www.biogemex.net/productos-de-biogemex/biodigestores/disenio-1/>

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10330_Instalaciones_ganaderas_05_8ad73059.pdf

<http://www.2-g.com/es/filius-7/>

<http://gas-gensets.es/2-4-3-50kw-biogas-genset.html>

<http://www.aqualimpia.com/PDF/Generadores.pdf>

<http://www.mopesa.com.mx/pdf/M6014.pdf>

<http://www.gruponovaenergia.com/productos/cogeneracion-biogas.php>

https://www.youtube.com/watch?v=a1C0BOnG_H8

http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/DOCBIOGASVersion21-09-2010_tcm7-5925.pdf

<http://aplicaciones.aragon.es/oresa/datosMeteorologicos.inicio.do?sm=2060>

https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf

<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/biocombustibles/ProduccionBiogasGranjaMarujo.asp>

<http://sigpac.magrama.es/fega/h5visor/#>

<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

https://www.3tres3.com/medioambiente/tecnologias-para-el-tratamiento-de-purines-porcinos-i-identificacio_1687/



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

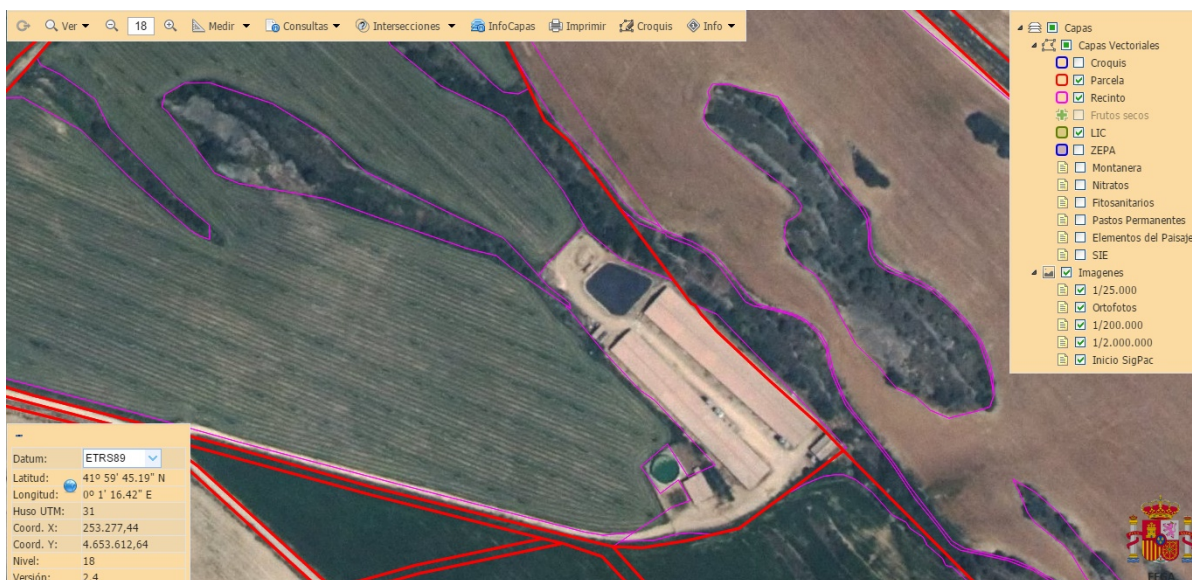
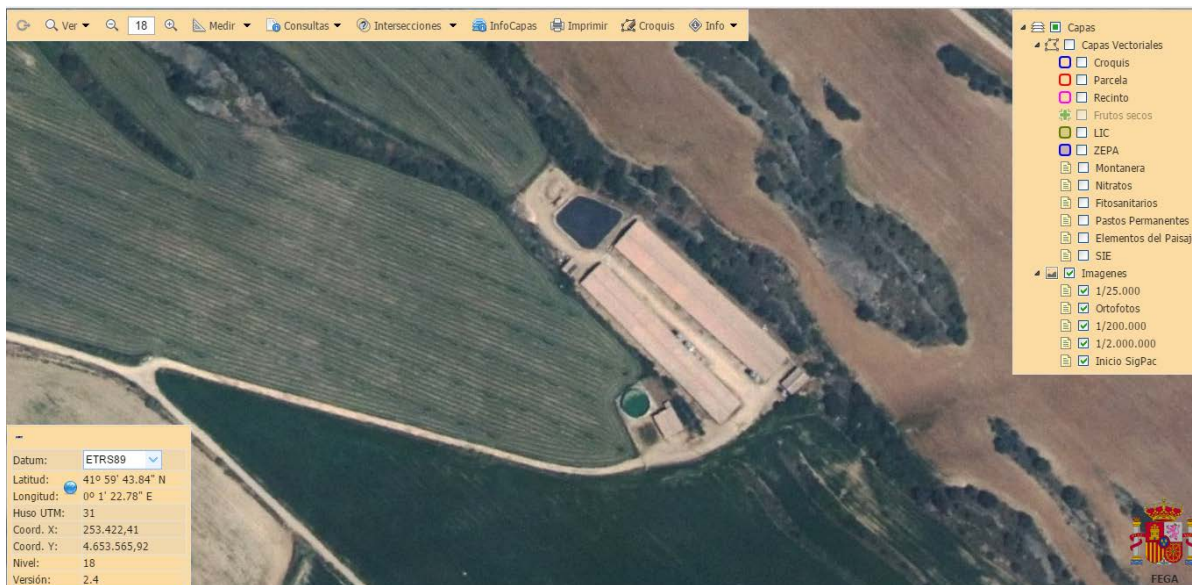
ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS EN UNA GRANJA DE MADRES DE PORCINO

ANEJOS

Anejo 1. Resumen del presupuesto

PRESUPUESTO			
Concepto	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
Deposito 500 m ³	1	5.200	5.200
Excavación y recubrimiento	1	900	900
Cubierta	1	2.500	2.500
Circuito refrigeración	1	700	700
Bomba recirculación agua	1	135	135
Agitador	2	1.885	3.770
Tubos entrada y salida deposito	1	300	300
Quemador	1	2.000	2.000
Filtro de biogás	1	450	450
Tubería para el gas	25 (m)	10	250
Válvulas para el flujo de gas	2	60	120
Motor OEKO 45 BG	1	21.000	21.000
TOTAL (€):			37.325
13% Montaje			4.852
TOTAL (€):			42.177
6% Beneficio Empresarial			2.530
COSTE TOTAL (€):			44.707

Anejo 2. Vista aérea de la explotación





Anejo 3. Plano de diseño de la instalación

