



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN EN UNA PLANTA AGROPECUARIA

Autor : Ana Bes Miras

Director : Antonia Gil Martínez

Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica

Departamento de Ingeniería mecánica, Área de Máquinas y Motores Térmicos

Escuela Universitaria de Ingeniería y Arquitectura (antes E.U.I. T.I.)

Universidad de Zaragoza

Marzo, 2.012

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan

<http://zaguan.unizar.es>



ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
OBJETIVOS	7
FASES DEL PROYECTO	8
CAPÍTULO 1.	9
INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	9
1 BIODIGESTIÓN APLICADA A INSTALACIONES AGROPECUARIA	10
1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BIOGÁS	11
1.2 PLANTA DE BIOGÁS.....	12
1.3 INSALACIONES NECESARIAS EN LA PLANTA DE BIOGÁS	14
2 CICLO RANKINE.....	18
2.1 CICLO RANKINE ORGÁNICO (O.R.C.)	19
2.2 ACOPLAMIENTO DE UN MOTOR-CICLO RANKINE ORGÁNICO	21
3 MOTOR ALTERNATIVO DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA BIOGÁS (M.A.C.I.).....	21
3.1 ¿CÓMO SON?	21
3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	23
3.3 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS MACI	25
3.4 PRINCIPALES FABRICANTES	26
4 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	27
CAPÍTULO 2.	28
EJEMPLO TIPO DE GRANJA PORCINA.	28
5 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA GRANJA.....	29
5.1 LOCALIZACIÓN MÁS APROPIADA PARA LA GRANJA	30
5.2 CANTIDAD NECESARIA DE CERDOS.....	31
5.3 NECESIDADES TÉRMICAS DE LAS GRANJAS PORCINAS.....	31
6 PRODUCCIÓN ÓPTIMA DE BIOGÁS	33
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL DESECHO	34
6.2 CÁLCULO DE POTENCIAS.....	34
7 REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS	37
7.1 PRESELECCIÓN DE MOTORES QUE SUPLEN ESTA DEMANDA TÉRMICA.....	39
7.2 CONCLUSIÓN DE LA PRESELECCIÓN DE LOS MOTORES.....	51
7.3 PLANTA DE BIOGÁS. INVERSIÓN EN LAS INSTALACIONES NECESARIAS	52
8 CONCLUSIONES	54
CAPÍTULO 3.	55



ANÁLISIS ECONÓMICO.....	55
9 INGRESOS PARA EL MOTOR GUASCOR SFGLD 180	57
9.1 COMPLEMENTOS	58
9.2 INGRESOS ANUALES TOTALES.....	59
9.3 GASTOS EN ELECTRICIDAD, O&M Y SEGUROS	60
9.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO	60
9.5 INGRESOS DEL MOTOR GUASCOR SFGLD 180	60
9.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	64
9.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL GUASCOR SFGLD 240	66
9.8 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN.....	67
10 INGRESOS PARA EL MOTOR AB ECOMAX 2BIO.....	71
10.1 COMPLEMENTOS	72
10.2 INGRESOS ANUALES TOTALES.....	73
10.3 GASTOS APROXIMADOS EN ELECTRICIDAD, O&M Y SEGUROS	74
10.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO	74
10.5 INGRESOS DEL MOTOR ECOMAX 2BIO	74
10.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	78
10.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL ECOMAX 2BIO	80
10.8 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN.....	82
11 INGRESOS PARA EL MOTOR ECOMAX 2.5BIO.....	85
11.1 COMPLEMENTOS	86
11.2 INGRESOS ANUALES TOTALES.....	87
11.3 GASTOS	88
11.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO	88
11.5 INGRESOS DEL MOTOR ECOMAX 2.5BIO	88
11.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	92
11.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL ECOMAX 2.5BIO	94
11.8 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN.....	96
12 CONCLUSIONES.OPCIÓN ELEGIDA	99
13 OPCIÓN ELEGIDA SIN SUBVENCIONES	100
14 CONCLUSIONES	102
15 AGRADECIMIENTOS.....	103
16 BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	105



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales del biogás. Fuente: James & James Ltd	11
Tabla 2. Motores para biogás y sus características. Fuente: Guascor Power	25
Tabla 3. Necesidades térmicas de los cerdos en invierno. Fuente: IDAE.....	32
Tabla 4. Necesidades térmicas de los cerdos en primavera. Fuente: IDAE.	32
Tabla 5. Relación Tª- tiempo de retención en el digestor. Fuente: elaboración propia	33
Tabla 6. Características del fluido. Fuente: elaboración propia.....	34
Tabla 7. Temperaturas mes a mes de la zona. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.	36
Tabla 8. Motor Caterpillar CAT G3508LD. Fuente: Caterpillar.	40
Tabla 9. Motores ab Gruppo. Características. Fuente: ab Gruppo	41
Tabla 10. Motor ab Gruppo Ecomax 2BIO. Fuente: AB Energy	42
Tabla 11. Motor ab Gruppo Ecomax 2.5 BIO. Fuente: AB Energy	44
Tabla 12. Motor Gruppo ab Ecomax 5BIO. Fuente: AB Energy	46
Tabla 14. Motores GUASCOR POWER. Características. Fuente: GUASCOR POWER.....	47
Tabla 15. Motor Guascor SFGLD 240. Características. Fuente: Guascor Power	48
Tabla 16. Motor Guascor SFGLD 180. Características. Fuente: Guascor Power	50
Tabla 17. Motores preseleccionados. Fuente: elaboración propia.....	52
Tabla 18. Precios de los motores preseleccionados. Fuente: elaboración propia.....	54
Tabla 19. Valores del IPC. Fuente: elaboración propia	61
Tabla 20. Tarifas, primas y complementos anuales. Motor Guascor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia	62
Tabla 21. Ingresos para el motor Guascor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia	63
Tabla 22. Gastos para el motor Guascor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia	64
Tabla 23. Evolución del préstamo. Motor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia	67
Tabla 24. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	69
Tabla 25. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	70
Tabla 26. Valores del IPC. Fuente: elaboración propia	75
Tabla 27. Tarifas, primas y complementos anuales para el motor Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia	76
Tabla 28. Ingresos para el motor Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia	77



Tabla 29. Gastos para el Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia	78
Tabla 30. Evolución de la Inversión. Motor Ecomax 2BIO. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 31. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	83
Tabla 32. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	84
Tabla 33. Valores del IPC .Fuente: elaboración propia	89
Tabla 34. Tarifas, primas y complementos anuales para el motor AB ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia	90
Tabla 35. Ingresos para el motor AB Ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia	91
Tabla 36. Gastos para el motor AB ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia	92
Tabla 37. Evolución del préstamo. Motor ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia	95
Tabla 38. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	97
Tabla 39. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia	98
Tabla 40. Payback, TIR y VAN para el motor seleccionado SIN subvenciones. Fuente: elaboración propia	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una planta de biogás. Fuente: ABT Group.....	13
Figura 2. Esquema de Ciclo Rankine básico	19
Figura 3. Esquema del ORC. Fuente: ICAI.....	20
Figura 4. Mapa por comarcas de potencial de producción. Fuente: PROBIOGAS	30
Figura 5. Motor Caterpillar-Finanzauto CAT G3508LD.....	40
Figura 6. Instalación Ecomax BIO	42
Figura 7. Motores Guascor	47



RESUMEN

En este proyecto se desarrolla un estudio tanto en el ámbito técnico como en el económico, de la implantación de un sistema de cogeneración en una planta agropecuaria, en la cual se quiere obtener biogás a partir de purines. Estos desechos como ya se conoce, están compuestos por un 95% de agua y un 5% de excrementos y orines porcinos. A estos purines se les aplican sofisticados tratamientos físico-químicos durante un periodo de días, con el fin de obtener biogás en el digestor a una temperatura determinada.

Este sistema consiste en una digestión anaeróbica y su posterior generación de energía eléctrica y térmica, mediante un motor de cogeneración para la posterior venta de dicha electricidad producida. Las tarifas, primas y demás requisitos, quedan recogidos en el *Real Decreto 661/2007* para instalaciones en Régimen Especial. Este tipo de instalaciones permite obtener un máximo aprovechamiento energético, una eliminación de efluentes al exterior y una minimización de todo tipo de emisiones.

La eliminación de estos desechos es un tema que preocupa desde hace tiempo al sector ganadero puesto que un litro de purines es cien veces más contaminante que un litro de aguas residuales urbanas. Siendo que ahora existe la solución de eliminar de forma más limpia esos residuos, a la par que se están obteniendo beneficios con la venta de la electricidad producida, resulta muy interesante el instalar una planta de cogeneración de estas características.

El estudio de este proyecto está centrado esencialmente en el ámbito económico del mismo. Se trata de un estudio en el cual se realizará un análisis técnico de motores que puedan suplir las necesidades de la granja a estudiar, (la demanda térmica de los animales, demanda térmica del digestor para la producción de biogás, cumplimiento del rendimiento eléctrico equivalente siendo el del motor siempre mayor que el mínimo estipulado y asegurar el correcto funcionamiento del motor con la cantidad de biogás producida diariamente). Y posteriormente se analizarán cada uno de ellos para averiguar cuál de es el más rentable es decir, con cuál de ellos se recupera antes la inversión realizada.

OBJETIVOS

Los principales objetivos del proyecto que a continuación se desarrolla son los siguientes:

- Determinar las posibilidades más rentables económicamente, para la aplicación de métodos de obtención de energía, la cual trabaja bajo el amparo de la legislación de la producción de energía en Régimen Especial.
- Estudio básico de la composición de una instalación para la obtención de biogás a partir de purín de cerdo.
- Determinar la manera de tratamiento de los residuos de la granja (purín de cerdo), los cuales son altamente contaminantes en el caso de filtración a los acuíferos subterráneos.



- Estudio de los diversos motores y equipos principales para este sistema de producción de biogás.
- Valoración de la viabilidad tanto económica como técnica de las diferentes opciones barajadas.

FASES DEL PROYECTO

Este proyecto está desarrollado en tres fases las cuales quedan a continuación descritas más detalladamente:

CAPÍTULO 1. Introducción y revisión bibliográfica: En este capítulo se hace una introducción al tema tratado es decir, a la biodigestión y a los tipos de motores y ciclos con los que opera el biogás. En él se pueden ver características principales de los motores y los sistemas de limpieza que necesitan dichos residuos.

CAPÍTULO 2. Ejemplo tipo de granja porcina: En él se realiza un estudio de la mejor zona para establecer la granja y el número de cerdos que debe poseer para que haya un flujo suficiente para la producción de biogás. Así como quedan determinadas las potencias óptimas para la producción de dicho gas teniendo en cuenta las características del fluido.

Finalmente, se realiza un estudio técnico de los equipos necesarios tanto principales como auxiliares, y se procede a una preselección de los motores que suplen la demanda.

CAPÍTULO 3. Análisis económico: Aquí se comparan los 3 motores preseleccionados en el anterior capítulo, realizando un análisis de los ingresos, de los gastos y por último la rentabilidad del proyecto con cada uno de ellos eligiéndose así, el más rentable.

Por último se realiza una conclusión teniendo en cuenta los diferentes resultados obtenidos, siendo ésta elección final la opción más favorable para el proyecto.



CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.



INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se va a introducir el tema en el que se basa esencialmente el presente proyecto, una planta de biogás.

Se comienza haciendo una breve descripción de lo que es la biodigestión y su aplicación a este tipo de instalaciones (granjas). A su vez, quedarán definidas en este apartado las principales características del biogás que opera en estas instalaciones.

También se incluyen las distintas características entre el ciclo Rankine orgánico y el ciclo Rankine básico, los cuales son bastante similares pero, debido a los diferentes fluidos con los que trabajan cada uno de ellos, tienen diferencias esenciales para el buen funcionamiento. Posteriormente se exponen las características esenciales de los motores que operan en estos ciclos de biogás. Se trata de motores alternativos de combustión interna para biogás.

Al final de este capítulo, se encuentra un resumen de la metodología que se va a llevar a cabo en los dos capítulos siguientes.

1 BIODIGESTIÓN APLICADA A INSTALACIONES AGROPECUARIA

Se llama biodigestión a un proceso por el cual se obtiene como resultado final gas metano. Este se consigue a través de una fermentación anaeróbica (es decir, en ausencia de oxígeno), de desechos orgánicos como por ejemplo residuos agrícolas, forestales, agroalimentarios, estiércol de los animales, textiles, etc. Pero este proceso no es directo, se ha de pasar previamente por unas fases antes de su obtención final: hidrólisis, acidogénesis, metanogénesis (en la cual se obtiene el metano), etc. Cada una de estas fases se realiza mediante diferentes bacterias, variando su temperatura en función de su régimen de trabajo.

En los digestores de las plantas de biogás, los cuales son depósitos estancos por completo, las diferentes bacterias van descomponiendo las cadenas carbonadas de los residuos a tratar hasta llegar a la obtención de una fracción muy reducida del carbono. Esta suele estar compuesta entorno a un 50 o 70% de metano, dióxido de carbono en un 50 o 30% y demás gases en pequeñas proporciones. El tiempo adecuado para la obtención de esas fracciones reducidas del carbono, dependerá también del residuo a tratar.

A la hora de la selección de los digestores y de los depósitos finales de lodos, se ha de tener muy en cuenta el tipo y la composición de los sustratos a digerir puesto que pueden variar bastante dependiendo de ello.

Este proceso de biodigestión se puede llevar a cabo gracias a la existencia de ese grupo ya citado de microorganismos bacterianos anaeróbicos existentes en los excrementos. Estos microorganismos actúan en el desecho orgánico produciendo así una mezcla de gases con un alto contenido en metano, el biogás.

1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BIOGÁS

Como se ha citado en el apartado anterior, el biogás está basado en una mezcla de gases constituida mayoritariamente por metano CH_4 en una proporción que oscila entre un 70% y un 50%, dióxido de carbono entre un 50 y un 30% y luego pequeñas proporciones de otros gases como puede ser: hidrógeno, nitrógeno o sulfuro de hidrógeno.

Puesto que posee un elevado contenido en metano, este gas es susceptible de aprovechamiento energético mediante combustión tanto en motores como en turbinas de gas, calderas... tanto solo, como mezclado con otros combustibles.

Debido a su alto contenido en metano, el biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³).

En la Tabla 1, quedan reflejadas las proporciones de cada elemento constituyente el biogás:

Componentes	% Proporción
CH_4	50-80
CO_2	40-20
N_2	< 1
H_2	< 1
H_2S	< 1
NH_3	< 1

Tabla 1. Componentes principales del biogás. Fuente: James & James Ltd

La producción de este gas mediante la descomposición anaeróbica, es una manera muy útil de tratar residuos biodegradables. Estos producen combustible a la par que generan un efluente que puede utilizarse como abono genérico.



1.2 PLANTA DE BIOGÁS

En este apartado se va a realizar una descripción de la manera en la que se lleva a cabo la obtención de biogás en dichas instalaciones.

OPERATIVA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS:

Para comenzar, 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 por una cinta transportadora hasta 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 pero, para dar lugar a ello, es necesario mantener una temperatura constante la cual suele variar entre unos 30 y unos 40°C. A continuación, en su interior se procede a mezclar dicha biomasa.

Estos digestores, son calentados por agua a elevada temperatura. A la entrada suele ser de unos 60°C y a la salida, la temperatura suele rondar los 40°C. En el caso de plantas de biogás con cogeneración, estos digestores pueden ser calentados por el generador de enfriamiento de agua. 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 a lo sumo en los reactores entre unos 20 y 40 días. Tiempo durante el cual, la materia orgánica es metabolizada por los microorganismos presentes en la biomasa como ya ha quedado explicado con anterioridad. 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:

1. Inyección de microorganismos concentrados
2. Añadiendo estiércol fresco
3. 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. Es en el gasómetro en el que se produce el calor a razón de:

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

Las plantas grandes constan también de una antorcha de emergencia para seguridad. Estas son utilizadas en el caso de mal funcionamiento de los motores, esta antorcha quemaría el exceso de biogás. Estos sistemas a su vez, también pueden ir equipados con un sistema de ventilación, extractor de condensado y una unidad de desulfuración.

Componentes principales de una planta de biogás:

1. Tanque de recepción homogeneizador y colector de líquido de biomasa.
2. Cargador de biomasa sólida
3. Digestor
4. Dispositivo de mezcla
5. Gasómetro (lugar de almacenamiento de gas)
6. Mezcla de aguas y calefacción
7. Cúpula de Gas
8. Unidad de bombeo
9. Separador
10. Unidad de control automático
11. Equipos de control con visualización
12. Sistema de emergencia antorcha y sistema de seguridad

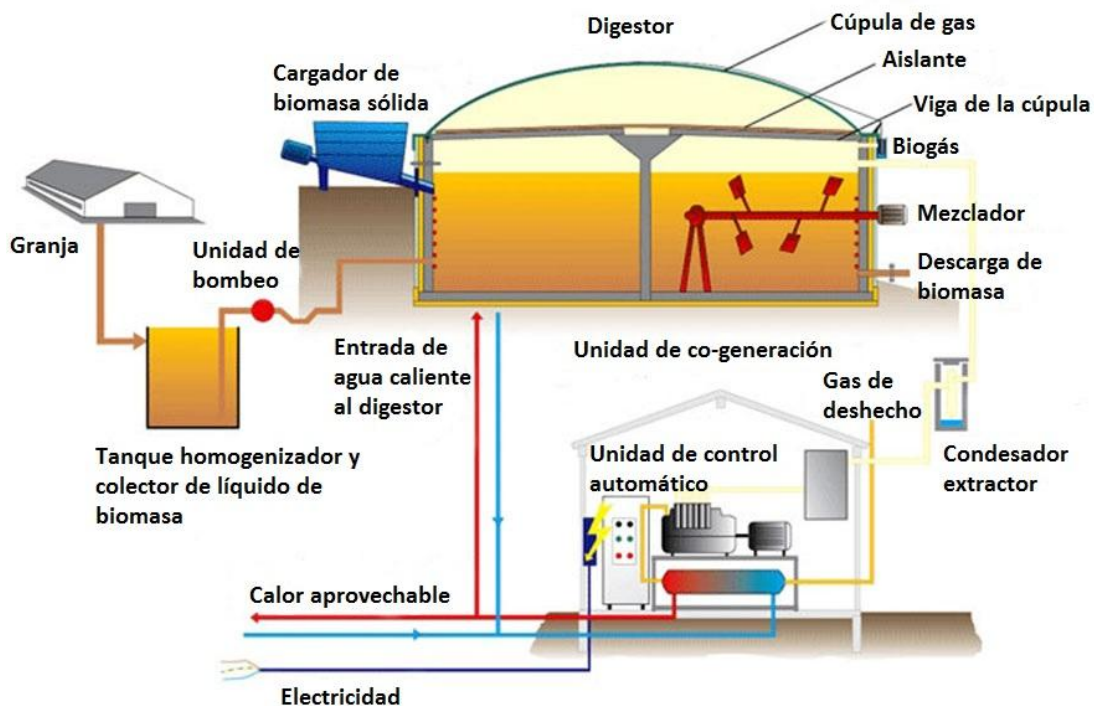


Figura 1. Esquema de una planta de biogás. Fuente: ABT Group



1.3 INSALACIONES NECESARIAS EN LA PLANTA DE BIOGÁS

Las instalaciones necesarias para el tratamiento de los desechos y la obtención de biogás con las siguientes:

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO Y ALIMENTACIÓN:

Descripción del sistema:

El principio del funcionamiento de este sistema se basa en la regeneración. El funcionamiento de éste incluye dos procesos tecnológicos de eliminación de CO_2 , H_2S y de la humedad existente. A la entrada, el biogás está inicialmente comprimido a unas presiones entre 8 y 10 bares. Acto seguido este biogás, es dirigido a la columna de purificación con agua la cual se halla purificada y ha sido enfriada bajo presión. Dicho agua es suministrada por el sistema de refrigeración de la parte superior en la dirección opuesta al flujo de biogás. Es justamente en esa parte en la que el CO_2 y H_2S se eliminan en la columna de purificación gracias a su alta solubilidad en el agua en comparación con el metano. Esta columna de agua está rellena con un material el cual garantiza un buen rendimiento y una alta conductividad del calor.

El proceso de purificación es más eficiente cuando el agua tiene una temperatura baja a la par que constante.

El agua que se utiliza en la purificación del biogás contiene metano y otros gases disueltos y es por ello que se puede comprimir hasta la presión de 2 bares, para posteriormente ser dirigida a la columna de regeneración de metano. Una vez ahí, el gas es extraído del agua y se suministra a la entrada del sistema de tratamiento para la purificación y recirculación.

La obtención de metano por regeneración del agua se realiza de 3 formas diferentes:

1. Gas recuperado saturado con CO_2 , H_2S y CH_4 se dirige al círculo grande para la purificación por compresión en el compresor segunda entrada.
2. Gas extraído de la parte inferior de la columna también se dirige a la etapa de compresión inicial.
3. El agua se dirige a la columna de separación de gas para el CO_2 y H_2S y su expulsión por vía aérea. Aire y agua forman la columna de separación de gas y se dirige a la columna de filtración biológica que está llena de bolas de un material que actúa como portador de bacterias. Como resultado de la intensa mezcla de bacterias se eliminan los restos de H_2S y el CO_2 . Los Microorganismos son retirados de las bolas y salen lodos.

El sistema de secado de gas se instala después de las columnas de purificación que consisten en un módulo de secado, filtro de carbón. Este sistema elimina los restos de agua de un gas purificado.

Este sistema de tratamiento para el biogás tiene una ventaja frente al resto: al realizarse mediante el uso de agua como elemento de purificación principal, tiene un costo mucho más bajo frente a otros.

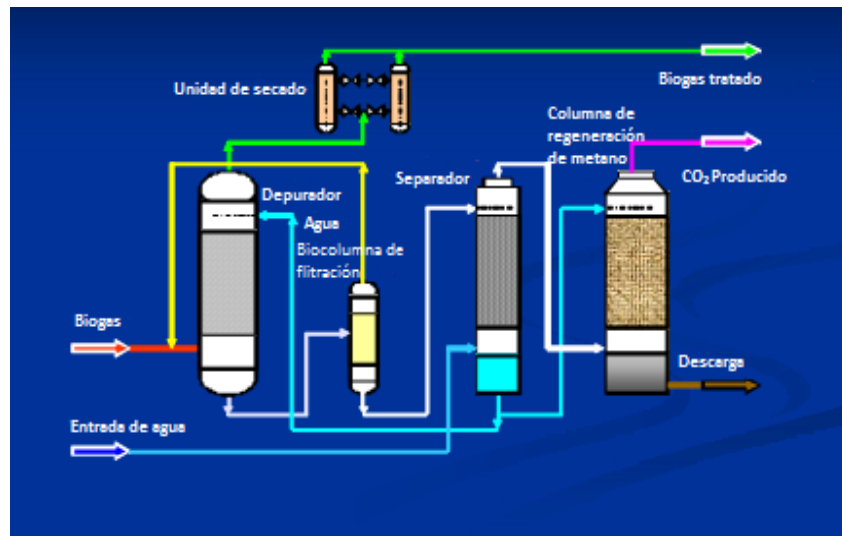


Figura 2. Esquema del sistema de tratamiento del biogás. Fuente: ABT renewables

Las diferentes partes de la Figura 2, quedan aquí especificadas:

- Separación de gas
- Depurador
- Columna de regeneración del metano
- Biocolumna de filtración
- Columnas bomba de recirculación
- Compresor
- Transporte de la bomba
- Compresor de biogás
- Unidad de secado

SISTEMA DE METANIZACIÓN

La metanización o digestión anaeróbica consiste en la degradación de la materia orgánica (purines de cerdo), por medio de una fermentación bacteriana la cual produce metano, en un recinto cerrado, caliente y en ausencia de oxígeno.

Durante el proceso de transformación de la materia orgánica (digestión), dichas bacterias producen el denominado biogás. Para la utilización de éste en equipos comerciales, se requiere de sencillas adaptaciones para quemarlo eficientemente.



El biodigestor es básicamente un cilindro impermeable y sellado (para poder realizar el proceso de manera anaeróbica), por donde entran las materias a tratar convenientemente humedecidas. Dentro de ellos no hay oxígeno y las bacterias anaeróbicas se multiplican y procesan la materia orgánica produciendo así gas metano. En éstos deben controlarse ciertas condiciones de pH, presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento. Los biodigestores están contruidos de manera que los excrementos se quedan allí bajo condiciones anaeróbicas durante aproximadamente unos **30 días**.

Los microorganismos son quienes llevan a cabo la base de este tratamiento anaeróbico. Se suelen producir **por cada Tonelada de estiércol de cerdo, unos 65m³ de biogás**.

La materia orgánica se descompone en varios pasos hasta que se obtiene el biogás. Posteriormente, este biogás debe ser sometido a un proceso de depuración mediante el cual se separa el metano del dióxido de carbono y de otros gases que se hallan también pero en menor proporción.

La ventaja de la utilización de un sistema de metanización es la reducción de los olores producidos por la descomposición y la carga contaminante propia de los purines. A su vez, también se reducen los microorganismos que pueden causar enfermedades en personas o animales.

Aquí quedan esquematizados las diferentes partes:

- Digestor, válvulas y bombas
- Control del digestor y aire comprimido
- Coste del transporte del purín a la planta

SISTEMA DE LIMPIEZA

Para la obtención de un biogás más eficiente, se ha de eliminar de él diferentes contaminantes como ácido sulfhídrico o compuestos de silicio mediante el uso de carbón activo especial. Por ello es necesario el pretratamiento del gas mediante deshumidificación y calentamiento, permite obtener resultados óptimos en el proceso de limpieza.

Los resultados positivos de la limpieza eficiente del biogás son: una combustión limpia y una mayor disponibilidad de la planta. De esta manera, se logra minimizar el nivel de emisiones contaminantes a la atmósfera, reduciendo a su vez el desgaste del motor, los intervalos de servicio y de mantenimiento, aumentando al mismo tiempo la rentabilidad de la planta.

Por lo tanto, los beneficios obtenidos en dicho sistema de limpieza de gases son:

- Óptimo funcionamiento de las máquinas (motores, turbinas, etc...) relacionadas con su aprovechamiento como combustible.
- Reducción del coste de mantenimiento de las máquinas involucradas.



- Prolongación de la vida útil de las máquinas utilizadas para su bombeo, extracción y compresión.
- Minimización de las emisiones de los gases de escape de las máquinas motoras.
- Evitar concentraciones tóxicas al ser humano, posibles enfermedades...

Los diferentes componentes por lo tanto que se han de eliminar en este proceso son:

-*Vapor de agua*: éste disminuye drásticamente el poder calorífico inferior (PCI) del biogás así como también facilita la formación de ácidos corrosivos.

-*Hidrocarburos halogenados*: Algunos de ellos también favorecen la corrosión de partes internas de las máquinas.

- *Sulfuro de hidrógeno*: En altas concentraciones resulta muy tóxico para el ser humano. Su falta de tratamiento promueve la formación de óxidos de azufre y de ácido sulfúrico los cuales son también altamente corrosivos.

-*Silicio*: Los depósitos de sílice en las diferentes partes internas de las máquinas (parecido al talco), obstruyen gravemente las válvulas y otras piezas fundamentales del motor.

Para la correcta eliminación de dichos elementos, lo más adecuado es realizar el tratamiento en dos etapas:

Tratamiento primario: Primera etapa en la reducción de la cantidad de contaminantes. Esta etapa es generalmente llevada a cabo por medio de trampas de condensados, que precipitan junto con el exceso de humedad a los contaminantes de mayor densidad.

Tratamiento secundario: Diseñados para proporcionar un nivel de limpieza de gas mayor. Incluyen tratamientos físicos, químicos y biológicos tales como sistemas de refrigeración y secado, torres biológicas de eliminación de sulfuros y filtros de carbón especialmente activado.

Descripción del sistema:

En primer lugar se realizará un enfriamiento previo (condensación) para reducir la humedad. A continuación se reduce aún más la temperatura (hasta unos 2°C) para reducir así el nivel de silicios. Posteriormente se ha de proceder al lavado del biogás, para la reducción de gases ácidos y del amoníaco, y a la extracción de condensados. Más tarde, para eliminar los silicios y compuestos halógenos, se utiliza el carbón activo pasando acto seguido al catalizador de oxidación. Para finalizar, el biogás ha de ser refrigerado y secado para acondicionarlo para su uso.



2 CICLO RANKINE

El ciclo Rankine es lo denominado también ciclo de potencia es decir, de generación de energía. Éste, en su versión más simple, está compuesto por cuatro procesos como se puede observar en la Figura 2 más abajo, los cuales van a ser explicados a continuación.

En primer lugar, el vapor generado en la caldera el cual se encuentra en condiciones de presión y temperatura elevadas, se expande a través de la turbina para producir trabajo, descargándola posteriormente a baja presión. Si se desprecia el calor transferido al ambiente, los balances de masa y de energía se reducen a que la diferencia entre la entalpía a la entrada y a la salida de la turbina, es igual al trabajo desarrollado por unidad de masa la cual circula por la turbina. Las energías tanto cinética como potencial se desprecian como ya se ha dicho con anterioridad.

Posteriormente, en el condensador se transfiere calor del vapor de agua de refrigeración la cual circula en un flujo separado para no mezclarse. El vapor se condensa y la temperatura del agua de refrigeración por consecuencia, aumenta. En este caso para el condensador, la diferencia entre la entalpía de entrada al mismo y la salida de él, es igual a la energía transferida en forma de calor desde el fluido de trabajo al agua de refrigeración por unidad de masa del fluido que atraviesa el condensador. Esta energía es positiva en la dirección de salida del condensador.

A continuación, el líquido procedente del condensador, es bombeado hasta la presión de la caldera. Completando así el ciclo cuando este líquido llega de nuevo a la caldera.

Queda comprobado así que el cambio de la entalpía específica para el vapor que se expande en la turbina es mucho mayor que el aumento de entalpía para el líquido que se expande en la turbina a través de la bomba. Así la relación de trabajos es muy baja para ciclos de potencia de vapor.

Resulta muy instructivo considerar un ciclo ideal en el que no existen irreversibilidades y para comportamientos ideales en ausencia de esos efectos. Éste, evidentemente, tendrá un rendimiento mayor que el de un ciclo Rankine real. El ciclo Rankine ideal consiste en idear un ciclo en el cual, al pasar el fluido de trabajo a través de los diversos componentes de un ciclo simple de vapor sin irreversibilidades, no existirán pérdidas de ningún tipo debidas a la presión ni a los rozamientos en la caldera y el condensador. Por ello el fluido de trabajo pasará a través de estos equipos a presión constante. También, en ausencia de irreversibilidades y sin transferencia de calor al entorno, los procesos en la turbina y la bomba serán isoentrópicos. Este tipo de ciclos también tiene la posibilidad de sobrecalentar el vapor.

Pero en la realidad, hay que tener en cuenta que en los ciclos reales suceden irreversibilidades es decir, los ciclos ideales no existen. En la turbina y en la bomba los procesos no son isoentrópicos (aunque sean adiabáticos) y en la caldera existen pérdidas de presión y hay diferencias de temperatura con el foco caliente (irreversibilidades externas). En el condensador también se producen pérdidas de presión y diferencias de temperatura con el refrigerante.

Es conocido que al aumentar la presión en la caldera, se aumenta a su vez el rendimiento pero también tiene sus inconvenientes:

Baja el título del vapor a la salida de la turbina y este hecho puede producir corrosión en ella. Aumenta el espesor de los tubos y por ello se encarece empeorando a su vez, la transmisión de

calor y la seguridad del mismo.

Por ello la mejor opción es realizar un sobrecalentamiento del vapor en la misma caldera para así conseguir:

- Aumentar la temperatura media en la caldera aumentando a su vez el rendimiento como se ha citado anteriormente.
- Evitar bajos títulos y por lo tanto sus correspondientes corrosiones.
- También conviene reducir la presión de condensación pues así se reduce la temperatura media de desprendimiento, aumentando a su vez el rendimiento.

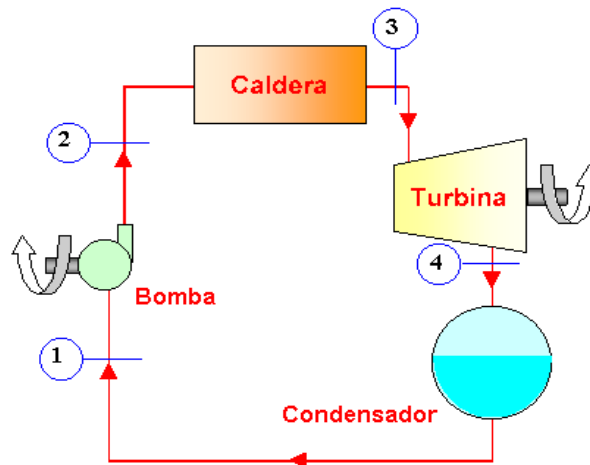


Figura 2. Esquema de Ciclo Rankine básico

2.1 CICLO RANKINE ORGÁNICO (O.R.C.)

El ciclo Rankine orgánico es bastante similar al ciclo Rankine básico pero a diferencia de éste, no utiliza el agua como fluido sino que utiliza un fluido orgánico.

La temperatura de operación de este ciclo nunca puede sobrepasar los 350°C, es más debe encontrarse entre los 70 y los 300°C. Debido a que el fluido con el que opera es orgánico y este tiene unas propiedades físicas diferentes a las del agua, la expansión del vapor saturado no conduce a la zona de vapor húmedo, sino que se queda en la zona anterior a esa, la zona de vapor sobrecalentado.

Habitualmente para incrementar la eficiencia de estos ciclos, puede utilizarse un regenerador entre el condensador y la turbina para precalentar ese fluido orgánico y así tenerlo a una temperatura óptima para su uso. A su vez, para hacerlo aun más eficiente, puede utilizarse un economizador para recuperar el calor de los gases de escape de la caldera y así, reutilizar ese calor de nuevo. La

ventaja frente a otros líquidos es que los fluidos orgánicos pueden calentarse directamente en la caldera debido a que poseen bajas temperaturas.

Esto hace que, al no necesitar una caldera de vapor, los costes de inversión y su posterior mantenimiento sean considerablemente menores. Pero eso no es todo, estas instalaciones poseen otra ventaja frente a las turbinas de vapor convencionales. Ésta es la posibilidad de operar con cargas parciales desde el 30 hasta el 100% de plena carga.

Las plantas que suele haber instaladas rondan los 300 y 400 kWe aunque esto no implica que haya equipos de hasta 1MWe. Los costes de inversión de este tipo de plantas son similares o ligeramente superiores a los de un ciclo Rankine no orgánico.

La mayor desventaja del ciclo Rankine orgánico es la relativa baja eficiencia del mismo (inherente a las limitaciones termodinámicas) y los relativamente grandes tamaños de los equipos intercambiadores de calor. Por tanto, es importante emplear métodos para incrementar la eficiencia térmica y para disminuir el tamaño de dichos intercambiadores de calor. Técnicas atractivas para conseguir ambos objetivos serían el uso de recuperadores de calor y el empleo de regeneradores.

Aquí queda representado el esquema del ciclo Rankine orgánico y su diagrama T-S:

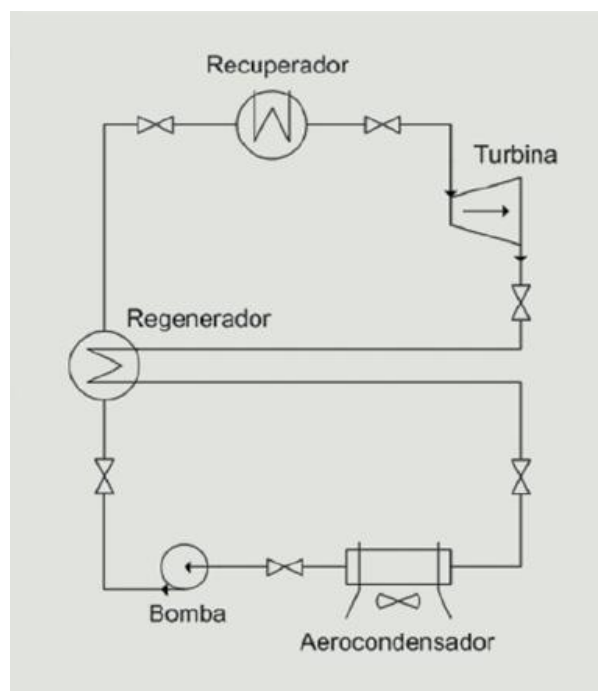


Figura 3. Esquema del ORC. Fuente: ICAI



2.2 ACOPLAMIENTO DE UN MOTOR-CICLO RANKINE ORGÁNICO

En instalaciones como la que posteriormente se va a estudiar (de cogeneración que usa biogás como combustible). Se puede incluir un ciclo Rankine orgánico también llamado ORC. Este consistiría en un ciclo combinado en el cual el ciclo de alta sería el motor alternativo de combustión interna y el ciclo de baja se trataría de un ciclo Rankine orgánico.

En el presente proyecto, no se ha incluido el ORC al sistema de cogeneración puesto que no es rentable realizar ambas cosas a la vez (la instalación de cogeneración más el ORC). Una vez recuperada la inversión del sistema de cogeneración, sí que se podría contemplar la instalación del ciclo Rankine orgánico cuyo funcionamiento ha sido explicado en el apartado 2.1. de este primer capítulo.

3 MOTOR ALTERNATIVO DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA BIOGÁS (M.A.C.I.)

3.1 ¿CÓMO SON?

El origen de los motores térmicos se remonta a 1860 cuando nació, gracias a Lenoir, el primer motor industrial que funciona con explosiones, pero sin compresión previa. Posteriormente, el motor de "compresión previa y ciclo de cuatro tiempos", definido por Beau de Rochas (1862) y realizado por Otto en 1878, provee a la industria de un motor de media potencia, cuyo precio y complicación no son comparables al conjunto generador-máquina de vapor.

En 1893, Rudolph Diesel enunció el principio del motor de "combustión interna y alta compresión previa", sin encendido, el cual debía ser alimentado directamente por un combustible pesado, no fluido y relativamente económico.

Con el tiempo y el estudio detallado de los motores, se llegó a la conclusión de que los motores más potentes deben disponer necesariamente de varios cilindros.

Es por ello que comienzan a desarrollarse numerosos tipos de motores, cambiando principalmente el tipo de combustible (y por ende su principio de funcionamiento), así como la disposición de los cilindros, con el fin de lograr un máximo de potencia.

La mayor demanda social de energía se centra fundamentalmente en energía mecánica y eléctrica que se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La más utilizada es la energía térmica obtenida de los combustibles de naturaleza orgánica. Los equipos energéticos que más aceptación han tenido, en sus diferentes concepciones, son los motores térmicos que basan la producción de energía mecánica en una diferencia de temperatura.

Los MACI son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo, en el interior de un cilindro, intercambiando energía con ellos que hace girar



el cigüeñal donde se obtiene un movimiento de rotación.

La característica fundamental de los MACI es su combustión intermitente que implica una mayor dificultad para lograr la combustión completa con mínima emisión de contaminantes; esta desventaja lleva consigo una ventaja que es una menor temperatura media de los elementos mecánicos en contacto con los gases procedentes de la combustión.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel, pero la mejor opción es la de utilizar gas natural puesto que tiene ciertas ventajas sobre estos:

- El precio por unidad de energía calorífica es menor en el gas natural.
- Los costes en mantenimiento de los motores diesel son mayores que en los de gas natural para una misma potencia dada.

De forma general los combustibles gaseosos poseen un número de octano superior que el de la gasolina, lo que posibilita que los motores de explosión trabajen con relaciones de compresión de hasta 12 y 13, aumentando así su rendimiento. Por el contrario este elevado número de octano (entre 100 y 110), impide que los motores diesel realicen adecuadamente el encendido por compresión cuando son alimentados con gas, ya que el gas natural funciona mejor con motores de encendido provocado mediante una bujía y con menores potencias que las de los diesel.

En los motores diesel de gas el sistema de ignición no siempre es por compresión de aire y posterior inyección de aire. Según el tipo de ignición los motores diesel se clasifican en:

- **Encendido por chispa:** se comprime una mezcla de gas y aire y el encendido se provoca se lleva a cabo mediante una bujía.
- **Inyección piloto de gasoil:** se comprime una mezcla de combustible y aire en exceso lo que hace disminuir la tendencia a la detonación y permite trabajar con mayor relación de compresión. Hacia el final de la compresión se introduce en el cilindro una pequeña cantidad de combustible con elevado número de cetano (relación de intervalo de encendido), lo que determina que se inicie la combustión y se propague por toda la cámara. De esta forma se consigue mejor rendimiento que el caso anterior pero se añade complejidad y coste al motor.
- **Inyección de gas a alta presión:** consiste en comprimir únicamente aire en el cilindro e inyectar el gas comprimido al final del proceso de compresión en el motor. En definitiva, el principio de funcionamiento de este motor se corresponde al del diesel convencional. Este sistema proporciona mejor rendimiento que en los dos casos anteriores, aunque a cambio de consumir potencia en el compresor de gas.

Es sabido que el componente más importante de un sistema de cogeneración es el motor: turbina de gas, turbina de vapor, MACI, etc. La aplicación de motores alternativos de combustión interna alternativo se adapta bien a los sistemas térmicos integrados, ya que como se ha referido, son máquinas versátiles y que trabajan con elevado rendimiento, al mismo tiempo que el calor de desecho del ciclo termodinámico se presenta en varias fuentes y a diferentes niveles de temperatura, lo que en ocasiones resulta muy atractivo. Las fuentes y niveles de calor en un motor alternativo son: gases de escape (400°C - 600°C) el agua de refrigeración (80°C - 120°C), el aceite de lubricación-refrigeración (70°C - 80°C) y el calor disipado en el intercooler del turbocompresor



(140°C).

Los gases de escape constituyen la fuente de energía de mayor temperatura en MACI. La temperatura de estos gases depende del tipo de motor (sobrealimentado, de mezcla pobre, de gas, diesel, etc.) y de las condiciones de operación. En general, puede encontrarse un rango de temperaturas que oscila entre aproximadamente 400°C hasta cerca de 700°C. El aprovechamiento del calor de los gases de escape puede realizarse en un recuperador produciendo vapor o agua caliente. En la salida del recuperador la temperatura de los gases de escape se establece en función de la temperatura del fluido a calentar, situándose normalmente unos 50°C por encima de la temperatura de salida de este último. Si el combustible no está exento de azufre o de otros compuestos que pueden producir ácidos, resulta imprescindible que la temperatura de los gases de escape a la salida del recuperador de calor esté por encima del punto de rocío, siendo 175°C un valor habitual de diseño.

El agua de refrigeración de los cilindros es otra fuente de calor en MACI.

Aunque el circuito de refrigeración en motores puede estar presurizado, el agua de refrigeración no sobrepasa los 120°C por motivos derivados de limitaciones mecánicas. La diferencia de temperatura del agua entre la salida y entrada al motor no debe sobrepasar 8°C como máximo. Los fluidos orgánicos presentan como ventajas poder emplear equipos compactos debido a que tienen un salto entálpico por unidad de volumen alto y no es necesario sobrecalentar, puesto que el estado del fluido tras la expansión en la turbina no es de vapor húmedo. Por otra parte, con la adecuada selección del fluido no se requiere la presencia del desgasificador, al poder condensar a presiones superiores al ambiente.

3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Los MACI se caracterizan por su gran versatilidad, pues convenientemente diseñados pueden emplear una amplia gama de combustibles líquidos y gaseosos en aplicaciones muy diversas. Al mismo tiempo se adaptan con gran flexibilidad a diferentes condiciones de operación, pues su rendimiento no se ve muy afectado por el grado de carga al que está sometido el motor; además de resultar muy idóneos para proporcionar calor adicional a varias temperaturas: desde los gases de escape a 400°C - 600°C, hasta otras fuentes de menor temperatura como el agua de refrigeración, aceite de lubricación y aire del intercooler del sobrealimentador.

Otra ventaja no despreciable de los MACI es que pueden ser empleados fácilmente de forma modular. Es decir, se montan varios motores de pequeño tamaño en un sistema único, lo que permite mantener siempre un buen rendimiento global independiente de la potencia demandada al sistema (desactivando ciertas unidades y manteniendo el resto a plena carga).

Los MACI son las máquinas que mejor se adaptan para trabajar con buen rendimiento a cargas parciales (un valor típico del rendimiento al 50% de la carga nominal es de aproximadamente el 90% del valor del rendimiento a plena carga, mientras que una turbina sólo alcanzaría el 75% del valor a plena carga). Los motores alternativos soportan bien los arranques y las paradas continuas, lo que en una turbina de gas se traduce en un acortamiento muy sensible de su vida útil. Por otra parte, son muy adecuados para aplicaciones en las que, además de electricidad, se requiere calor



(cogeneración) a diferentes niveles de temperatura medios o bajos.

Finalmente, referir que las prestaciones de los motores alternativos, especialmente si están sobrealimentados, no se ven afectadas notablemente por las condiciones ambientales (presión, temperatura y humedad relativa).

En resumen, los MACI tienen su aplicación más clara siempre que se produzcan variaciones de carga importantes, e incluso se requieran paradas periódicas del sistema (por la noche, fin de semana, horas valle, pequeños arreglos, etc.).

También son muy adecuados cuando parte de la energía se demanda en forma de calor a temperaturas medias y bajas.

Aunque el coste de capital de los motores alternativos es el más bajo de todas las tecnologías existentes, no ocurre lo mismo con los costes de explotación y mantenimiento que son bastante elevados, dada la mayor complejidad de estas máquinas.

Un inconveniente de los MACI es que presentan elevado peso y volumen por unidad de potencia producida frente a otros tipos de motores térmicos, si bien no es el caso cuando se comparan con otras tecnologías existentes. Asimismo, son motores contaminantes tanto en emisiones gaseosas como en acústicas.

Como ya queda citado antes, para este gas se puede usar tanto motores a gasolina como diesel gracias al octanaje que posee este gas tras su fermentación.

Los motores más frecuentemente usados son los de gasoil pero sufriendo unas pequeñas adaptaciones para el biogás. El problema en España radica en que algunas de las marcas que fabrican dichos motores, no están homologadas para ser usadas en nuestro país y por lo tanto, no se pueden utilizar. A la hora de calcular el motor necesario se debe conocer la potencia requerida del motor. Esta potencia ha de ser ajustada a la potencia de biogás y suele ser un 40% a la hora de solicitar el motor al fabricante puesto que hay que tener en cuenta paradas de mantenimiento, picos de producción... etc.

Uno de los fabricantes en España de motores de cogeneración para el uso de biogás es **Guascor power**. Sus motores a gas cubren una amplia gama de potencias, desde los 150 hasta los 1240 KW. Dichos motores suponen un aprovechamiento energético de nivel elevado manteniendo a su vez, los niveles de emisiones permitidos cumpliendo la normativa.

A continuación, la tabla 2 muestra los motores con sus características principales:

Tipo	Nº Cil.	Cilindrada (cc)	POTENCIA MECÁNICA			POTENCIA ELÉCTRICA		
			1200 rpm (kWm)	1500 rpm (kWm)	1800 rpm (kWm)	1200 rpm/60Hz (kWe)	1500 rpm/50Hz (kWe)	1800 rpm/60Hz (kWe)
FG 180	6L	17,96	-	150	180	-	142	171
FG 240	8L	23,96	-	200	238	-	191	226
FGLD 180/55	6L	17,96	-	275	300	-	264	287
FGLD 240/55	8L	23,96	-	360	400	-	347	385
FGLD 360/55	12V	35,93	-	550	600	-	529	577
FGLD 480/55	16V	47,9	-	725	800	-	702	774
SFGLD 180	6L	17,96	252	314	350	242	300	336
SFGLD 240	8L	23,96	335	419	453	322	405	436
SFGLD 360	12V	35,93	503	630	700	486	609	676
SFGLD 480	16V	47,9	670	838	906	649	812	874
SFGLD 560	16V	56,3	788	985	-	762	957	-
SFGM560	16V	56,3	-	1055	1100	-	1025	1065
HGM 240	8L	24	-	520		-	502	-
HGM 560	16v	56,3	1040	1240	1350	1007	1204	1308

Tabla 2. Motores para biogás y sus características. Fuente: Guascor Power

3.3 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS MACI

A través de los gases de escape de los MACI se emiten a la atmósfera los productos de la combustión, algunos de los cuales son considerados sustancias contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x); hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y partículas.



ÓXIDOS DE NITRÓGENO → se forman por reacción del nitrógeno y oxígeno del aire a las elevadas temperaturas que se alcanzan en el motor.

HIDROCARBUROS NO QUEMADOS → tienen su origen en una combustión deficiente, incluso cuando existe exceso de aire (fallos de encendido y existencia de localizaciones de combustión incompleta). La emisión de HC es significativamente mayor en motores de ciclo Otto por ejemplo.

MONÓXIDO DE CARBONO → se origina por combustión incompleta, igual que los hidrocarburos, pero también por fenómenos de disociación del CO_2 a elevada temperatura. También en este caso es mayor la emisión de CO en motores de ciclo Otto que en los de ciclo diesel.

DIÓXIDO DE AZUFRE → procede exclusivamente del azufre contenido en el combustible, por lo que su emisión es prácticamente nula con ciertos combustibles como el gas natural o el biodiesel.

PARTÍCULAS → se puede definir como los elementos en suspensión contenidos en los gases de escape, tanto en fase líquida como sólida, y su formación es característica de los motores diesel alimentados con gasóleo y en condiciones próximas a plena carga.

3.4 PRINCIPALES FABRICANTES

A parte de los mencionados en el apartado anterior de la marca Guascor Power, hay una gran variedad de empresas que también están trabajando en el desarrollo de motores de cogeneración para biogás. Entre otras muchas éstas son las principales:

- Jenbacher Energy
- Pasch (representante de motores alemanes MAN para España y Portugal).
- Econogás Perkins
- Ulstein- Rolls Royce
- Deutz Energy
- Man B&W
- Caterpillar-Finanzauto
- Wärtsilä
- Dresser-Waukesha
- Niigara engineering co Ltd.

La potencia de estos motores suele abarcar desde 40 kW a 5470 kW.



4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este proyecto se pretende realizar un análisis tanto técnico como económico de diversos motores para una planta de biogás. En una primera fase, se llevará a cabo una revisión de la documentación disponible, con el objetivo de seleccionar una buena situación y magnitud de la granja.

A continuación, se realizará un estudio para hacer una preselección de los motores que podrían cubrir tanto las necesidades térmicas de la granja objeto de estudio como el calor necesario en el digestor para la generación de biogás. También deberán cumplir que su rendimiento eléctrico equivalente sea en todo momento mayor que el mínimo estipulado en el Real Decreto (RD 661/2007). Se tendrá en cuenta a su vez, que con la producción de biogás obtenida diariamente, sea posible el correcto funcionamiento de dicho motor.

Para realizar el balance de los costes de inversión, se analizarán todos los sistemas necesarios tanto para la obtención de biogás, como para la obtención de energía con dicho gas. Se debe tener en cuenta tanto los pretratamientos, como maceración, hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, diferentes componentes del sistema de digestión anaeróbica, limpieza de gases, componentes necesarios para llevar a cabo la cogeneración y obtención de electricidad... Respecto a los costes de explotación se ha de contar tanto los consumos de los diferentes equipos como el mantenimiento de los mismos, seguros...

Y finalmente, se pasará a realizar el análisis económico. En este se realizará un balance de ingresos y gastos, obteniendo así la rentabilidad de cada uno de los motores preseleccionados. De esta manera, se realizará la selección del motor con el que antes se recupere la inversión de entre los que hayan sido estudiados.

También se ha de tener claro que los motores más adecuados para este tipo de instalaciones desde el punto de vista económico, son los de elevada potencia, teniendo siempre presente que tampoco debe sobrepasar unos límites para evitar el encarecimiento del proyecto y las necesidades térmicas de la instalación. Estos motores a su vez, tienen temperaturas de escape de menor rango.

Los criterios básicos para seleccionar adecuadamente un sistema térmico bien integrado son los siguientes:

- Determinar las necesidades eléctricas y térmicas: distribución en el tiempo y cantidad.
- Evaluar los niveles de temperatura requeridos para las necesidades térmicas tanto del digestor como de los animales.
- Plantear un sistema de cogeneración adecuado en función de la disponibilidad y coste de combustibles y de los valores estimados de las necesidades eléctricas y térmicas.
- Decidir la configuración final del sistema una vez establecida la política de suministro eléctrico: autoconsumo, compra y venta.



CAPÍTULO 2.

EJEMPLO TIPO DE GRANJA PORCINA.



INTRODUCCIÓN

En este segundo capítulo se va a realizar el estudio pertinente para el establecimiento de las características necesarias de la granja para que se pueda proceder a la instalación de un sistema que trabaje con biogás. Primero se definirán las características de la granja: la localización más indicada y el número de cerdos que debe haber con sus respectivas necesidades térmicas. Posteriormente se establecerá la potencia óptima para una producción de biogás con las características definidas con anterioridad.

Se seguirá con el estudio técnico de los equipos necesarios para dicha planta, en él se realizará una preselección de tres motores los cuales serán objeto de estudio económico en el siguiente capítulo del presente proyecto.

Por último se hará un balance de la planta de biogás en sí. Se contabilizará la inversión a cometer para la instalación de producción de dicho gas.

5 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA GRANJA

En este primer apartado del segundo capítulo, se va a realizar un estudio de las características más favorecedoras para la utilización de un sistema de cogeneración con biogás, en una granja de cerdos. Para ello se han de tener en cuenta los requerimientos esenciales para una planta de estas características.

Principalmente se ha de tener presente que, ante todo, la rentabilidad económica del proyecto es esencial para llevarlo a cabo con éxito. Esto quiere decir, que el ganadero deberá recuperar su inversión lo antes posible para poder empezar a sacarle partido a la instalación a través de la venta de la electricidad producida. Con esto el ganadero obtendrá unos beneficios adicionales a los que ya obtenía con la granja en sí.

Por otro lado, siempre se ha de recordar que uno de los objetivos de realizar una instalación de un sistema de este tipo, es el medioambiental, reduciendo así productos que resultan altamente contaminantes en grandes cantidades.

5.1 LOCALIZACIÓN MÁS APROPIADA PARA LA GRANJA

La climatología de la zona en la que se establecerá la granja, es esencial a la hora de realizar los cálculos pertinentes para hallar la energía térmica necesaria, para calentar el desecho a raíz del cual se obtendrá biogás. A pesar de que España no posee unos climas muy extremos se tendrá que seguir teniendo cuidado con este aspecto.

Por medio de la página de PROBIOGÁS, se puede apreciar que las zonas con mayor obtención de biogás son las comunidades de: Aragón, País Vasco, Cataluña y Murcia. Esto se debe a que son zonas de mayor actividad relacionada con la producción de desechos de carácter orgánico. Puesto que el desecho a utilizar en este proyecto para la producción de biogás son purines de cerdo, se puede observar que, la mayor concentración de este tipo de gas procede de las zonas de: Huesca, Lérida, Tarragona y Zaragoza.

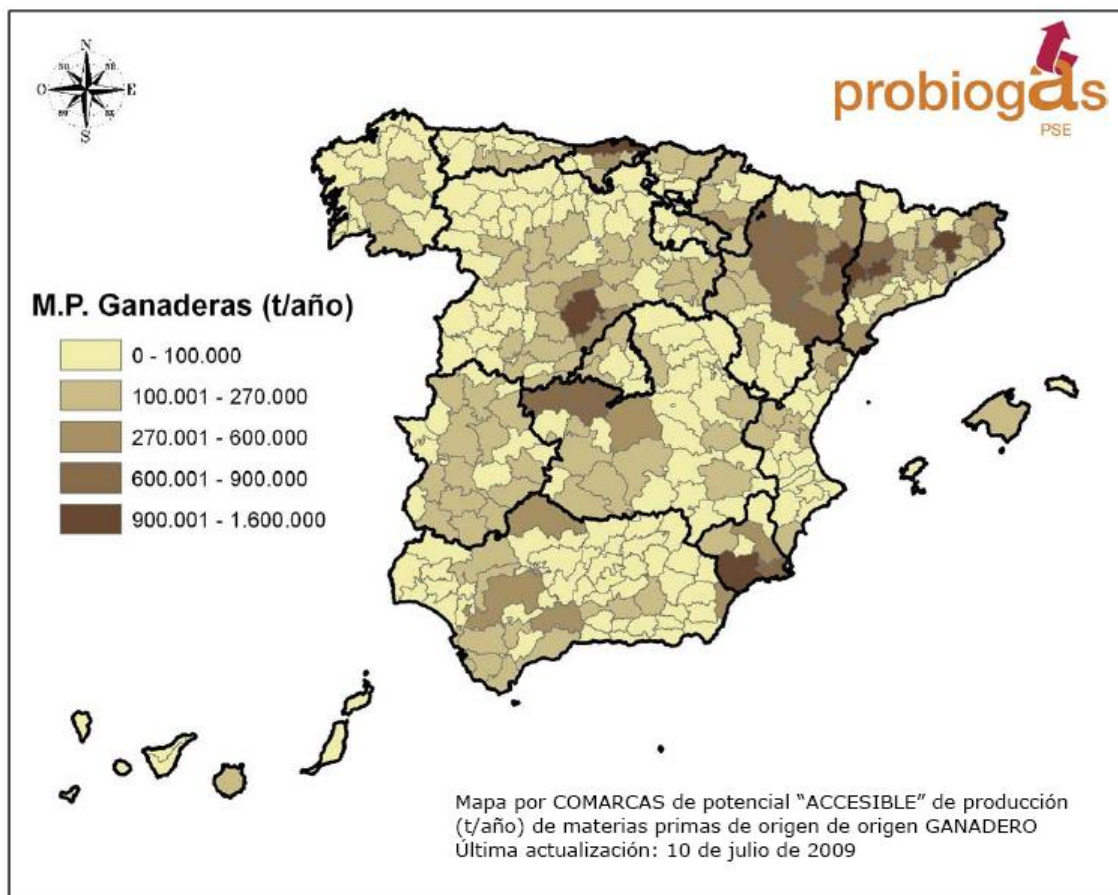


Figura 4. Mapa por comarcas de potencial de producción. Fuente: PROBIOGAS

Puesto que la Comunidad Autónoma de Aragón posee una cantidad importante de subvenciones para la puesta en marcha de instalaciones de este tipo. Ellas quedan especificadas en la *ORDEN de 14 de diciembre de 2011, del Departamento de Economía y Empleo, por la que se aprueban las bases reguladoras y se convocan para el ejercicio 2011, subvenciones para el uso eficiente de la*



energía y aprovechamiento de energías renovables, y en el RD 949/2009. Es por eso que, se elegirá una zona la cual esté situada en Aragón, en concreto en la comarca de La Litera puesto que es ahí donde mayor potencial se puede obtener en la Comunidad Autónoma de Aragón. En esta zona la climatología es relativamente extrema con inviernos no muy fríos, veranos muy calurosos y con pocas lluvias.

Por otro lado, el fácil acceso a la red eléctrica es otro de los factores a tener en cuenta. Puesto que así, se evitará el tener que realizar maniobras complicadas a la hora de vender la electricidad generada por el mismo sistema de cogeneración.

5.2 CANTIDAD NECESARIA DE CERDOS

Puesto que existe un tamaño mínimo de granja, con su mínimo número de cerdos para que la producción de purín, y su asociada producción de biogás sea suficiente para poner un motor y que sea rentable, es esencial establecer a partir de qué cantidad se trata.

Por ello, en este subapartado se establece esa cantidad y se realiza un estudio de las necesidades energéticas y por consiguiente térmicas durante el frío invierno, para ese número de cerdos.

Estos datos también serán muy útiles y básicamente necesarios, a la hora de la preselección del motor de cogeneración y para conocer los parámetros esenciales para la planta de obtención de biogás. Estos son:

- La potencia térmica para satisfacer las necesidades de los cerdos de la granja durante el invierno.
- La potencia térmica necesaria para el funcionamiento óptimo de la planta de biogás, teniendo muy en cuenta a la cantidad y a las características de los desechos a tratar en el interior del digestor.

Puesto que según el estudio realizado en el documento: “La producción porcina en España y el medio ambiente. Normativa e implementación” de M.BIGERIEGO, cada cerdo produce aproximadamente unos **7 litros de purín diarios** más unos **5 litros** de desechos procedentes de su alimentación. Por lo que, para que haya una producción **total diaria de 100 m³** de purín (lo cual es una cantidad adecuada para una buena cantidad de biogás diaria), será necesario que la granja conste al menos **8.300**.

5.3 NECESIDADES TÉRMICAS DE LAS GRANJAS PORCINAS

En las granjas es sabido que los cerdos no son todos del mismo tipo es decir, hay cerdos de engorde, cerdos de gestación, madres lactantes... por lo que hay que tener en cuenta, que cada tipo de ellos tendrá por tanto unas necesidades térmicas u otras. Estas necesidades están definidas en

el documento de IDAE *"Ahorro y eficiencia energética en instalaciones ganaderas"*. En él, se encuentran recogidos los datos teniendo en cuenta a su vez, la zona de España en la que se encuentra, en la comarca de La Litera.

Para los meses de invierno (enero, noviembre y diciembre) en el documento de IDAE citado anteriormente se estipula que para esta comarca los cerdos tendrán las necesidades térmicas expuestas en la Tabla 3:

TIPOS DE CERDO	CANTIDAD	kW/cerdo	kW
<i>Cerdos en gestación</i>	450	0,00232558	1,18
<i>Madres lactantes</i>	250	0,026366	0,66
<i>Lechones</i>	1000	0,00341085	3,41
<i>Cerdos de engorde</i>	4100	0,0027907	11,44
<i>Cerdos de recebo</i>	2500	0,0027907	6,98
TOTAL	8300		23,67

Tabla 3. Necesidades térmicas de los cerdos en invierno. Fuente: IDAE.

En la Tabla 4, se va a establecer (según el mismo documento de IDAE), las necesidades en los meses de febrero, marzo y abril:

TIPOS DE CERDO	CANTIDAD	kW/cerdo	kW
<i>Cerdos en gestación</i>	450	0,00138	0,62
<i>Madres lactantes</i>	250	0,00216	0,54
<i>Lechones</i>	1000	0,00241	2,41
<i>Cerdos de engorde</i>	4100	0,001539	6,31
<i>Cerdos de recebo</i>	2500	0,001292	3,23
TOTAL	8300		13,11

Tabla 4. Necesidades térmicas de los cerdos en primavera. Fuente: IDAE.

Por lo que según las tablas 2 y 3, se obtienen estos valores:

- *Enero, Noviembre y Diciembre* → 23,67 kW
- *Febrero, Marzo y Abril* → 13,11 kW
- *Para el resto de los meses* → 0 kW (puesto que son meses de verano)

Media anual de las necesidades térmicas de los animales → 9,2 kW

6 PRODUCCIÓN ÓPTIMA DE BIOGÁS

En los siguientes subapartados, se analizarán las características de los desechos que se van a utilizar para la producción de este tipo de gas (purines de cerdo) puesto que, dependiendo de su composición y su procedencia, el poder calorífico del biogás y otras características varían en gran magnitud.

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 es en promedio de unos 30 días. Por lo que, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario que la energía aportada sea el suficiente para elevar 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:

Tª de trabajo	Tiempo de retención en el digestor
15°C	56 días
26°C	20 días
35°C	30 días
49°C	16 días

Tabla 5. Relación Tª- tiempo de retención en el digestor. Fuente: elaboración propia

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL DESECHO

Para este proyecto, se han tomado como referencia diferentes estudios elaborados para diferentes granjas elaborados por M.BIGERIEGO autor de *La producción porcina en España y el medio ambiente. Normativa e implementación, Madrid, junio 2001*. Llegando así a la conclusión de que se estima una media de 7 litros diarios de purín por cada cerdo que hay en la granja. Puesto que se trata de una granja de 8.300 cerdos como ya se ha mencionado con anterioridad, estaremos ante una producción diaria de 100 m^3 de purín.

Por otro lado, según las fuente ABT gupo, un cerdo produce al día unos 14,5 kg de estiércol. Por lo que, siendo que en la granja hay 8.300 cerdos, y que por cada tonelada de purín se obtienen 65 m^3 de biogás, se obtendrán unos 7.500 m^3 de biogás diario. Con estas características:

Densidad media	1.200 kg/m^3
Calor específico	$4,2 \text{ kJ/ Kg}^\circ\text{C}$

Tabla 6. Características del fluido. Fuente: elaboración propia

Establecer el calor específico de este fluido es muy complicado, por lo que, siendo que posee un elevado porcentaje de humedad, se cogerá el valor del agua.

6.2 CÁLCULO DE POTENCIAS

Una gran parte del calor producido se emplea en mantener la temperatura del digestor a esos 35°C deseados. Por lo tanto es necesario calentar el sustrato el cual está a temperatura ambiente y compensar las pérdidas de energía por las paredes del digestor. Estas pérdidas suelen ser el 30% de la energía requerida para calentar el sustrato.

A continuación, se va a proceder hallar la potencia térmica que es necesaria en el digestor anaerobio para que los microorganismos degraden los purines con el fin de obtener biogás compensando a su vez esas pérdidas. Para ello se utilizará esta fórmula tomada del libro ***Planning and installing bioenergy systems***:

$$\text{Demanda de calor del digestor} = m \cdot C_p \cdot (35^\circ - T^a \text{ media anual}) \cdot 130\% \quad (1)$$

Siendo: **Demanda de calor:** MJ / año

m : La cantidad de estiércol al año. (Toneladas de purín/año)

Se calcula como:

$$m = 14,5 \text{ kg/día/cerdo} \cdot 8.300 \text{ cerdos} \cdot 365 \text{ días/año}$$

$$m = 43.927.750 \text{ kg/año} = 43.927,75 \text{ t/año}$$

C_p : El calor específico (**4,2 kJ/kg·°C**)

Sustituyendo ahora en la ecuación 1 estos valores se obtiene:

$$\text{Demanda térmica digestor} = 43.927,75 \cdot 4,2 \cdot (35^\circ - T^a \text{ media año}) \cdot 130\%$$

Para obtener la temperatura media anual, se han tomado datos climatológicos del Instituto Nacional de Meteorología (www.AEMET.es), en cuya página de internet se encuentra una media de las temperaturas obtenidas en el año pasado (2.011) para cada mes. Para hallar esa potencia térmica necesaria para la obtención de biogás, se realiza el cálculo especificado en la *Ecuación 1* para cada uno de los meses del año:

MES	TEMPERATURA MEDIA (°C)
Enero	4,7
Febrero	6,6
Marzo	8,1
Abril	14,6
Mayo	17
Junio	19,9
Julio	21,6
Agosto	22,1
Septiembre	20,8
Octubre	14,6
Noviembre	10,2
Diciembre	5,7

Tabla 7. Temperaturas mes a mes de la zona. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

Por lo que, según los datos de la Tabla 7, la **temperatura media** tiene un valor de unos **13,8 grados**.

Sustituyendo de nuevo en la ecuación 1 se obtiene:

$$Demanda\ térmica\ digestor = 43.927,75 \cdot 4,2 \cdot (35^{\circ} - 13,8) \cdot 130\%$$

$$Demanda\ térmica\ digestor = 5.084.724,92\ MJ / año$$

Obtenido este resultado se puede apreciar que a lo largo del año necesitará una potencia térmica media de 161,24 kW. Si se quiere obtener la demanda térmica que necesitará en concreto para el mes más frío y para el mes más cálido, se debe proceder a realizar el mismo cálculo pero para las temperaturas de ambos meses. Obteniendo como resultado para el mes de **Agosto 254.301,96 MJ**, y para el mes de **Enero 597.313,9 MJ**.

Con esto se conoce que las potencias térmicas para dichos meses (Enero y Agosto) tienen un valor **máximo de 230,4 kW** para el mes de Enero y un valor **mínimo de 98,11 kW** para el mes de Agosto. Se ha tenido en cuenta a la hora de realizar estos cálculos que cada animal produce unos 14,5 kg de desechos diarios y que en la granja hay 8.300 cerdos y está situada en la Comarca de La Litera.

7 REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS

Puesto que a continuación se va a proceder a seleccionar un motor de cogeneración para la instalación, habrá que tener en cuenta las demandas térmicas obtenidas en el apartado anterior. Para ello se han de tener en cuenta ciertos puntos los cuales son esenciales para una buena preselección. Estas son:

- El motor deberá de ser capaz de proporcionar una potencia térmica mínima de **98,11 kW** puesto que, según los cálculos realizados en el apartado anterior, es el mínimo que puede llegar a necesitarse para la producción de biogás durante el año. Este se dará en el mes de agosto.

- El motor ha de cumplir con el valor que impone el Real Decreto para el Rendimiento Eléctrico Mínimo Equivalente para instalaciones de cogeneración con biogás procedente de la digestión anaeróbica. Esto se refiere al **Grupo a.1.3.; Subgrupo b.7.3. en el Real Decreto 661/2007 de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial.**

El rendimiento eléctrico equivalente, trata de relacionar la electricidad producida con el combustible que se habría consumido sólo para la generación de esa electricidad. Se utiliza para autorizar a las instalaciones de cogeneración la venta de su electricidad en el mercado de Régimen Especial (según RD 661/2007 del 25 de Mayo). Los términos son energéticos anuales y el valor del calor útil hace referencia exclusivamente al calor aprovechado en el proceso industrial, lo que puede suponer una limitación de tamaño. Viene establecido por la Ecuación 2 :

$$REE = E / [Q - (V / Ref H)] \quad (2)$$

En donde:

E: es la energía eléctrica generada, bornas del generador.

Q: es el consumo de energía primaria medida por el P.C.I.

V: es la energía térmica útil.

Ref H: Valor de referencia del rendimiento para la producción separada de calor que aparece publicado en el anexo II de la Decisión de la Comisión de 21 de diciembre de 2006, por la que se establecen valores de referencia armonizados para la producción por separado de electricidad y calor, de conformidad con lo dispuesto en la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo o norma que lo transponga. Según este anexo II este parámetro toma un valor de **0,9**.

Se ha de considerar que la producción de biogás es constante a lo largo del año.



Y puesto que se considera que la potencia eléctrica generada es constante las 24 horas del día, se puede realizar este cálculo del rendimiento eléctrico equivalente en términos de potencia en lugar de hacerlo en términos de energía.

El rendimiento eléctrico mínimo viene estipulado en el RD 661/2007, y el valor que tomará para ser usado en la ecuación 2, dependerá de la potencia instalada y de la clase de instalación (biomasa a partir de purines, Régimen Especial). Es decir:

$$\text{Potencia eléctrica} \leq 1 \text{ MW} \rightarrow \eta_{\text{eléctrico mínimo}} = 45 \%$$

Para asegurar que el rendimiento eléctrico equivalente es siempre mayor que el mínimo, se han de realizar los cálculos tanto para el valor medio anual de demanda térmica cuyo valor es de **5.085.724,92 MJ**, como para la demanda térmica del mes de Agosto cuyo valor es de **254.301,96 MJ**. En el caso de no obtener un rendimiento superior al 45%, quedaría descartado el uso de ese motor.

- Se ha de tener en cuenta que, el volumen de biogás obtenido, lleva ligada la potencia máxima que puede proporcionar en relación a su PCI, todo ello en condiciones normales (CN). Esto es:

$$Q_{\text{biogás}} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} \quad (3)$$

Puesto que la densidad del biogás es:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{real}} &= 830 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{\text{CN}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

En condiciones normales el biogás tiene una densidad relativa muy muy similar a la del agua y se puede tomar su valor.

Por lo que con estos datos, a través de la ecuación de gases ideales, obtenemos que para condiciones normales, se obtienen diariamente 6.225 m^3 de biogás en lugar de los 7.500 m^3 obtenidos.

Una vez hallado esto, y teniendo en cuenta que el PCI tiene un valor de $5 \text{ kWh/m}^3\text{N}$ debido al porcentaje de metano (50-60%), se procede a evaluar la potencia térmica máxima del biogás:

$$Q_{\text{biogás}} = (6.225/24) \cdot 5 = 1.295,9 \text{ kW}$$

- Dicho motor a su vez, deberá de ser capaz de suplir la potencia térmica media anual. Ésta está constituida por la potencia necesaria para la producción del biogás **161,24 kW** más la necesidad térmica media de los animales **9,2 kWt**. Esta por lo tanto será:

$$Pot. \text{ térmica}_{media} = 161,24 \text{ kW} + 9,2 \text{ kW}_t = 170,44 \text{ kW}$$

(4)

7.1 PRESELECCIÓN DE MOTORES QUE SUPLEN ESTA DEMANDA TÉRMICA

En este apartado, se va a realizar una preselección de los motores de cogeneración. El criterio escogido para seleccionar el motor se basa en, si con los 7.500 m^3 de biogás (6.225 m^3 en condiciones normales) que se producen diariamente, el motor puede trabajar. Es decir, si la potencia que el motor necesita, es menor que la máxima que puede suministrar el biogás la cual es **1.296,9 kW**. Para ello hay que en cuenta el PCI del biogás el cual tiene un valor de **5 kWh/m³N** puesto que se está ante un biogás que posee entre un 50 y un 60% de metano, y el rendimiento eléctrico del MACI.

Por otro lado también hay que comprobar que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor que el **45%** estipulado en el Real Decreto tanto para el valor medio de demanda de calor, como para el valor de esa demanda térmica en mes más desfavorable, Agosto.

Otra opción sería centrar el estudio para la preselección en si los motores cubren la demanda térmica tanto para las necesidades de los animales como para la producción de biogás. Esta opción queda descartada puesto que esa demanda térmica tiene un valor muy bajo y cualquier motor podría suplirla.

Los datos de los motores se obtendrán de los catálogos de cada uno de ellos, los cuales están disponibles en las páginas web de las tres empresas. De dichos catálogos se cogerán los datos que nos van a servir para los cálculos con los cuales se seleccionaran.

Para pasar esta selección, los motores deberán cumplir los requisitos de rendimiento eléctrico equivalente, estipulado en el Real Decreto para instalaciones en Régimen Especial (RD 661/2007-RE). La potencia térmica recuperable será la del agua de las camisas a plena carga.

Se analizarán motores de diferentes marcas para contar con mayor diversidad de opciones. Las marcas: Guascor Power, Caterpillar-Finanzauto y ab Gruppo. Se comenzará con los de **Caterpillar – Finanzauto**. En su página web se pueden encontrar motores que a primera vista, se adaptan a los requerimientos. Vamos a proceder a evaluar uno de ellos:



Figura 5. Motor Caterpillar-Finanzauto CAT G3508LD

CAT G3508LD

Potencia eléctrica P_e	463 kW
Potencia térmica recuperable máx V_{max}	353 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	32,40%
Rendimiento térmico η_t	44%
Rendimiento del motor η	33,70%
Energía introducida Q	1430 kW
PCI	5 kWh / m ³ N

Tabla 8. Motor Caterpillar CAT G3508LD. Fuente: Caterpillar.

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N) .
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.

1. Producción diaria de biogás en C.N. = $6.225 \text{ m}^3 / \text{día} = 259,38 \text{ m}^3 / \text{h}$

$$Q_{\text{biogás}} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} = 1.296,9 \text{ kW}$$

Puesto que:

$$1.296,9 \text{ kW} < 1.430 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{biogás}} < Q_{\text{motor}}$$

Puesto que el motor requiere una demanda térmica mayor que la que la cantidad de biogás producida puede proporcionar, este motor **queda descartado** puesto que sería imposible su funcionamiento. Este motor necesitaría una cantidad mayor de biogás diaria.

Se procede ahora a estudiar algunos de los motores de la marca **ab Gruppo**. Estos serán estudiados de la misma manera que el motor Caterpillar-Finanzauto. Para esta segunda marca objeto de estudio técnico se han seleccionado los siguientes:

Modelo	Potencia eléctrica (kWe)
ab Ecomax 1BIO	125
ab Ecomax 2BIO	245
ab Ecomax 5BIO	526

Tabla 9. Motores ab Gruppo. Características. Fuente: ab Gruppo

Se procede al estudio por separado de estos tres motores para comprobar que son aptos para la instalación proyecto:



Figura 6. Instalación Ecomax BIO

ab Ecomax 2BIO

Potencia eléctrica P_e	190 kW
Potencia térmica recuperable total V_{total}	212 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	38,5 %
Energía invertida Q	493 kW
PCI	5 kWh / m ³ N

Tabla 10. Motor ab Grupo Ecomax 2BIO. Fuente: AB Energy

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N).
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.



1. Producción diaria de biogás en C.N. = $6.225 \text{ m}^3 / \text{día} = 259,38 \text{ m}^3 / \text{h}$

$$Q_{\text{biogás}} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} = 1.296,9 \text{ kW}$$

Puesto que:

$$1.296,9 \text{ kW} > 493 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{biogás}} > Q_{\text{motor}}$$

Este motor sí que cumple este punto 1. La cantidad producida diariamente puede suplir la demanda del motor.

2. Se procede a analizar el Rendimiento Eléctrico Equivalente para la demanda térmica media anual. Hay que tener en cuenta que el motor trabajará 8.328 horas anuales.

$$\eta_{\text{e.e.}} = E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] =$$

$$= 190 / [493 - (170,44 / 0,9)]$$

$$\eta_{\text{e.e.}} = 62,58\%$$

(5)

Este rendimiento obtenido es mayor que el rendimiento mínimo para este tipo de instalaciones el cual toma un valor del 45%. Por lo que se pasa a analizar si también cumple esto para el mes de Agosto.

3. Rendimiento eléctrico equivalente en el mes de Agosto:

$$\eta_{\text{e.e.}} = E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] =$$

$$= 190 / [493 - (98,11 / 0,9)]$$

$$\eta_{\text{e.e.}} = 49,48\%$$

(6)

Puesto que este motor cumple los requisitos tanto de rendimiento eléctrico equivalente, como de demanda térmica, es **apto** para esta instalación de cogeneración. Por ello se estudiará posteriormente en el capítulo de análisis económico.

Se procede a estudiar el siguiente motor de esta misma marca:

ab Ecomax 2.5 BIO

Potencia eléctrica Pe	250 kW
Potencia térmica recuperable total V_{total}	268 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	38,1 %
Energía introducida Q	657 kW
PCI	5 kWh / m ³

Tabla 11. Motor ab Gruppo Ecomax 2.5 BIO. Fuente: AB Energy

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N).
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.

1. Producción diaria de biogás en C.N. = 6.225 m³ /día = 259,38 m³/h

Q_{biogás} = Volumen de biogás (m³N/h) · PCI (kWh/m³N) = 1.296,9 kW

Puesto que:

1.296,9 kW > 657 kW

$$Q_{\text{biogás}} > Q_{\text{motor}}$$

Este motor sí que cumple este punto 1. La cantidad producida diariamente puede suplir la demanda del motor.

2. Se procede a analizar el Rendimiento Eléctrico Equivalente para la demanda térmica media anual. Hay que tener en cuenta que el motor trabajará 8.328 horas anuales.

$$\begin{aligned}\eta_{\text{e.e.}} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 250 / [657 - (170,44 / 0,9)] \\ \eta_{\text{e.e.}} &= 53,46\%\end{aligned}$$

(7)

Este rendimiento obtenido es mayor que el rendimiento mínimo para este tipo de instalaciones el cual toma un valor del 45%. Por lo que se pasa a analizar si también cumple esto para el mes de Agosto.

3. Rendimiento eléctrico equivalente en el mes de Agosto:

$$\begin{aligned}\eta_{\text{e.e.}} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 250 / [657 - (98,11 / 0,9)] \\ \eta_{\text{e.e.}} &= 45,62\%\end{aligned}$$

(8)

Puesto que este motor cumple los requisitos tanto de rendimiento eléctrico equivalente, como de demanda térmica, es **apto** para esta instalación de cogeneración. Por ello se estudiará posteriormente en el capítulo de análisis económico.

ab Ecomax 5BIO

Potencia eléctrica P_e	526 kW
Potencia térmica recuperable máx V_{max}	532 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	40,4%
Energía introducida Q	1302 kW
PCI	5 kWh / m ³

Tabla 12. Motor Gruppo ab Ecomax 5BIO. Fuente: AB Energy

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N).
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.

1. Producción diaria de biogás en C.N. = 6.225 m³ /día = 259,38 m³/h

$$Q_{biogás} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} = 1.296,9 \text{ kW}$$

Puesto que:

$$1.296,9 \text{ kW} < 1.302 \text{ kW}$$

$$Q_{biogás} < Q_{motor}$$

Puesto que este motor requiere una demanda térmica mayor que la que la cantidad de biogás producida puede suministrar, este motor **queda descartado**.

Se procede ahora a estudiar los motores de la marca GUASCOR POWER. De esta marca se puede encontrar en su web una gran variedad de motores para el uso de biogás. De todos ellos, se han escogido dos los cuales tienen unas características medias muy adecuadas (cubriendo las

necesidades de potencias máximas), para una instalación de esta magnitud. Estos quedan representados en la Tabla 14:

Modelo	Potencia eléctrica (kWe)
SFGLD 180	304
SFGLD 360	609

Tabla 13. Motores GUASCOR POWER. Características. Fuente: GUASCOR POWER

Se comenzará con el primero de los dos seleccionados y se le realizarán los cálculos pertinentes para asegurar que es apto para la instalación:

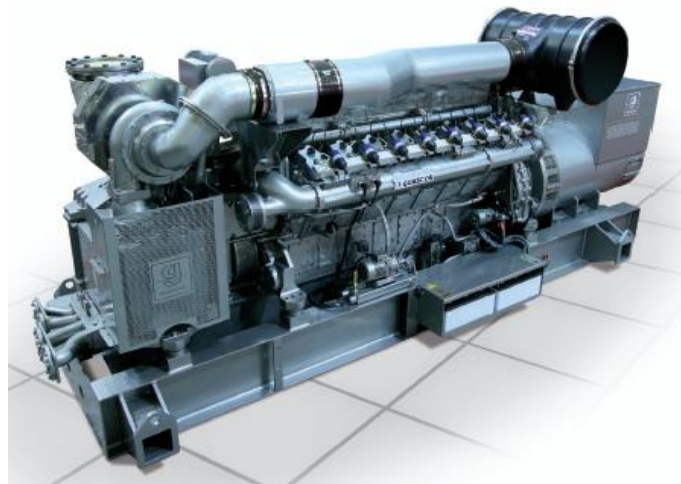


Figura 7. Motores Guascor

GUASCOR SFGLD 240

Potencia eléctrica P_e	405 kW
Potencia térmica recuperable total V_{total}	419 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	38,3 %
Energía introducida Q	1056 kW
PCI	5 kWh / m ³ N

Tabla 14. Motor Guascor SFGLD 240. Características. Fuente: Guascor Power

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N).
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.

1. Producción diaria de biogás en C.N. = 6.225 m³ /día = 259,38 m³/h

$$Q_{biogás} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} = 1.296,9 \text{ kW}$$

Puesto que:

$$1.296,9 \text{ kW} > 1.056 \text{ kW}$$

$$Q_{biogás} > Q_{motor}$$

Este motor sí que cumple este punto 1. La cantidad producida diariamente puede suplir la demanda del motor.

2. Se procede a analizar el Rendimiento Eléctrico Equivalente para la demanda térmica media anual. Hay que tener en cuenta que el motor trabajará 8.328 horas anuales.

$$\begin{aligned}\eta_{e.e.} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 405 / [1056 - (170,44 / 0,9)] \\ \eta_{e.e.} &= 46,73\%\end{aligned}$$

(9)

Este rendimiento obtenido es mayor que el rendimiento mínimo para este tipo de instalaciones el cual toma un valor del 45%. Por lo que se pasa a analizar si también cumple esto para el mes de Agosto.

3. Rendimiento eléctrico equivalente en el mes de Agosto:

$$\begin{aligned}\eta_{e.e.} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 405 / [1056 - (98,11 / 0,9)] \\ \eta_{e.e.} &= 42,77\%\end{aligned}$$

(10)

A pesar de que este motor cumpla los dos primeros requisitos, no llega al valor mínimo del rendimiento eléctrico estipulado para este tipo de instalaciones. El rendimiento eléctrico mínimo ha de ser 45%, y puesto que este sería inferior para el mes más desfavorable, **queda descartado** en esta preselección.

Este estudio técnico se finaliza con el estudio del último motor de Guascor Power. Se le realizarán los cálculos pertinentes para averiguar si es apto para la instalación:

GUASCOR SFGLD 180

Potencia eléctrica P_e	304 kW
Potencia térmica recuperable total V_{total}	315 kW
Rendimiento eléctrico η_{elec}	38,9 %
Energía introducida Q	781 kW
PCI	5 kWh / m ³ N

Tabla 15. Motor Guascor SFGLD 180. Características. Fuente: Guascor Power

Se procede a continuación a comprobar que el motor cumpla los requisitos exigidos para ser seleccionado:

1. Que la potencia térmica que necesita este motor, sea menor que la que el biogás puede proporcionar con la cantidad producida diariamente en condiciones normales (6.225m³N).
2. Que el rendimiento eléctrico equivalente sea mayor del valor mínimo para este parámetro según RD 661/2007, (45%).
3. Se debe comprobar que para el mes más desfavorable, Agosto, el rendimiento eléctrico equivalente obtenido, también sea mayor del 45%.

1. Producción diaria de biogás en C.N. = 6.225 m³ /día = 259,38 m³/h

$$Q_{biogás} = \text{Volumen de biogás (m}^3\text{N/h)} \cdot \text{PCI (kWh/m}^3\text{N)} = 1.296,9 \text{ kW}$$

Puesto que:

$$1.296,9 \text{ kW} > 781 \text{ kW}$$

$$Q_{biogás} > Q_{motor}$$

Este motor sí que cumple este punto 1. La cantidad producida diariamente puede suplir la demanda del motor.

2. Se procede a analizar el Rendimiento Eléctrico Equivalente para la demanda térmica media anual. Hay que tener en cuenta que el motor trabajará 8.328 horas anuales.

$$\begin{aligned}\eta_{e.e.} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 304 / [781 - (170,44 / 0,9)] \\ \eta_{e.e.} &= 51,38\%\end{aligned}$$

(11)

Este rendimiento obtenido es mayor que el rendimiento mínimo para este tipo de instalaciones el cual toma un valor del 45%. Por lo que se pasa a analizar si también cumple esto para el mes de Agosto.

3. Rendimiento eléctrico equivalente en el mes de Agosto:

$$\begin{aligned}\eta_{e.e.} &= E / [Q_{\text{motor}} - (V_{\text{media}} / 0,9)] = \\ &= 304 / [781 - (98,11 / 0,9)] \\ \eta_{e.e.} &= 45,24\%\end{aligned}$$

(12)

Puesto que este motor cumple los requisitos tanto de rendimiento eléctrico equivalente, como de demanda térmica, es **apto** para esta instalación de cogeneración. Por ello se estudiará posteriormente en el capítulo de análisis económico con el fin de analizar y evaluar la rentabilidad de su instalación en la planta.

7.2 CONCLUSIÓN DE LA PRESELECCIÓN DE LOS MOTORES

En el apartado anterior se han estudiado seis motores los cuales eran de tres marcas diferentes. El estudio ha consistido en tomar sus respectivas fichas técnicas para evaluar:

- Si el rendimiento eléctrico equivalente del motor calculado a través de su calor máximo aprovechable del agua de camisas (valor proporcionado en los catálogos de los

fabricantes), estaba por encima del 45% el cual es el mínimo admitido como está establecido en el Real Decreto (RD 661/2007).

- Si con la producción de biogás obtenida 7.500 m³ diarios (6.225 m³ en condiciones normales) , se suministraba una potencia eléctrica suficiente para el correcto funcionamiento de los motores. Se ha tenido en cuenta el PCI del biogás el cual tiene un valor de 5 kWh/m³ puesto que este gas contiene entre un 50 y un 60% de metano
- Y por último se ha de comprobar también que cubra las necesidades térmicas de los animales y el calor necesario para la producción de biogás en el digestor. Este tiene un valor medio anual de 170,44 kW_t.

Tras esta evaluación, han sido preseleccionados tres de los seis motores que han sido estudiados. De estos seis, tanto el motor Caterpillar como el ecomax 5BIO, han sido descartados puesto que tienen una demanda térmica mayor que la que puede suministrar la cantidad producida de biogás. Por ello no podrían tener un correcto funcionamiento. El motor SFGLD 240, también ha tenido que ser descartado puesto que, aunque la demanda de calor quedaba cubierta y el rendimiento eléctrico equivalente para el valor medio anual era mayor que el mínimo, no lo era para el mes más desfavorable (Agosto).

Por consiguiente los tres motores restantes, serán los seleccionados para el análisis económico posterior. Estos son:

MOTORES PRESELECCIONADOS

SFGLD 180	304 kWe
Ecomax 2BIO	190 kWe
Ecomax 2.5BIO	250 kWe

Tabla 16. Motores preseleccionados. Fuente: elaboración propia

Estos son los motores los cuales serán objeto del tercer capítulo en el cual se realizará el estudio económico.

7.3 PLANTA DE BIOGÁS. INVERSIÓN EN LAS INSTALACIONES NECESARIAS

Con los valores obtenidos anteriormente, se pueden estimar las características necesarias más importantes para la planta de biogás la cual trabaja aproximadamente unas **8.328 horas al año**. Es decir, tendrá una disponibilidad del 95%



Utilizando la recopilación de datos obtenidos con anterioridad se conoce que diariamente se producen **7.500 m³ de biogás**. Debido a que hay un total de 8.300 cerdos los cuales producen aproximadamente 14,5kg de estiércol diario. Como por cada tonelada de purín se obtiene unos 65m³ de biogás, obtendremos esa cantidad.

Como se ha expuesto en el capítulo 1, las partes de un sistema básico de una planta de biogás son:

1. SISTEMA DE PRETRATAMIENTO Y ALIMENTACIÓN:

Con sus consiguientes:

- Columna de separación de gas
- Columna de purificación
- Columna de regeneración del metano
- Biocolumna de filtración
- Columnas bomba de recirculación
- Compresor
- Transporte de la bomba
- Compresor de biogás
- Unidad de secado

2. SISTEMA DE METANIZACIÓN

Constituido por:

- Digestor, válvulas y bombas
- Control del digestor y aire comprimido
- Coste del transporte del purín a la planta

3. SISTEMA DE LIMPIEZA

Según Gruppo ab, una instalación de estas características supone una inversión de:

INVERSIÓN TOTAL PLANTA BIOGÁS = 1.700.000 €

8 CONCLUSIONES

Los aspectos clave para tener en cuenta son los siguientes:

- Se considera una granja de 8.300 cerdos con una producción diaria de unos 14,5 kg de desecho por animal.
- La granja se sitúa entre la provincia de Zaragoza y Huesca concretamente, en la comarca de La Litera en la cual hay una gran actividad de granjas porcinas.
- Con los purines de dichos cerdos se puede dimensionar una planta de biogás a través de la cual se obtengan unos 7.500 m³ diariamente de gas.
- La planta tendrá una disponibilidad anual del 95% es decir, trabajará 8.328 horas anuales.

En el siguiente capítulo se va a estudiar la rentabilidad de la inversión para cada uno de los tres motores preseleccionados. Primero se expondrán los ingresos y gastos que tendría el motor en el 2.012, los cuales sirven como referencia y base para los cálculos de las cifras económicas del siguiente año en adelante.

Precios de los tres motores a estudiar han sido proporcionados por las empresas fabricantes. Y el coste de la planta de biogás ha sido proporcionada por la empresa Gruppo ab.

Estos precios son:

MOTOR	PRECIO
GUASCOR SFGLD 180	210.500 €
GRUPPO ab Ecomax 2BIO	256.000 €
GRUPPO ab Ecomax 2.5BIO	300.500 €

Tabla 17. Precios de los motores preseleccionados. Fuente: elaboración propia

INVERSIÓN EN LA PLANTA DE BIOGÁS → 1.700.000 €

Por lo tanto, teniendo en cuenta que las prestaciones de cada uno de los tres motores seleccionados como objeto de estudio, se va a proceder a realizar un análisis económico para cada uno de ellos obteniendo así, la solución más rentable para dicho proyecto.



CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS ECONÓMICO.



INTRODUCCIÓN

En este último capítulo, se va a proceder a realizar el análisis económico con los tres motores que han sido preseleccionados por cumplir las exigencias de esta instalación. Los motores a tratar son: Guascor SFGLD 180, AB ecomax 2BIO y por último AB ecomax 2.5BIO.

A cada uno de ellos se le va a realizar un análisis de los ingresos y de los gastos para posteriormente analizar el flujo de caja y así obtener la rentabilidad de cada uno de ellos. Y por consiguiente, se optará por elegir la opción más rentable como es lógico.

Para analizar los ingresos procedentes de la venta de energía, se puede realizar de dos maneras las cuales llevarán exactamente a la misma cantidad de ingresos. Estas opciones están estipuladas en el **art. 24.1 del RD 661/2007**. Éstas son:

OPCIÓN A:

Liquidación = Tarifa – Costes de los desvíos + Complementos

OPCIÓN B:

Liquidación = Liquidación del mercado + Prima + Complementos

Se denomina liquidación del mercado, a la energía generada a precio del mercado diario (PMD). Queda representada como:

Liquidación mercado = Liq. del operador mercado(OM) + Liq. del operador sistema(OS)

Prima equivalente = Tarifa – Costes de desvíos – Liquidación OM – Liquidación OS

Se puede observar así, que al final los ingresos obtenidos son los mismos por ambos caminos.

Para este apartado es esencial recordar que las horas de trabajo anual son 8.328 es decir, disponibilidad del 95% al año.



9 INGRESOS PARA EL MOTOR GUASCOR SFGLD 180

Primero se va a analizar la energía que se estima producir con este motor. Éste, posee una potencia eléctrica de 304 kW_e con un autoconsumo del 5%. Sabiendo esto se puede hallar que la energía producida con este motor será:

$$E = P_{elec} \cdot h/año \cdot (1 - \text{autoconsumo } \%) = \\ = 304 \text{ kW} \cdot 8328 \text{ h/año} \cdot (1 - 0,05)$$

$$E = 2.405.126,4 \text{ kWh/año}$$

(13)

Para analizar los ingresos procedentes de la venta de energía, se puede realizar de cualquiera de las dos maneras explicadas en la introducción (estipuladas en el **art. 24.1 del RD 661/2007**), las cuales llevarán exactamente a la misma solución. Se va a realizar mediante la OPCIÓN A. Ésta queda resumida en la Ecuación 19:

$$\text{Liquidación} = \text{Tarifa} - \text{Costes de los desvíos} + \text{Complementos}$$

(14)

El precio de venta de la electricidad a tarifa viene dado en el RD 661/2007 de 25 de Mayo, de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial. Se trata de una instalación de cogeneración con biogás procedente de la digestión anaeróbica con potencias menores de 500 kW (*Grupo a.1.3; subgrupo b.7.2. en el Real Decreto 661/2007*). Por lo que, según el ANEXO III en el que aparece la actualización trimestral de las tarifas y primas del régimen especial a partir del 1 de Enero de la Orden IET/3586/2011, tendrán un valor de:

$$\text{Precio de la electricidad} = 0,148131 \text{ €/kWh}$$

Con la consiguiente prima también dada en el mismo documento citado del Real Decreto:

$$\text{Prima de referencia} = 0,116897 \text{ €/kWh}$$



9.1 COMPLEMENTOS

Complemento de energía reactiva:

Según la Orden ITC/3519/2009 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el complemento por energía reactiva tiene un valor de **0,082954 €/kWh**.

$$\text{Cuantía del complemento} = E \cdot \text{Valor del complemento} \cdot \text{Porcentaje Reactiva} \quad (15)$$

$$\text{Cuantía complemento} = 2.405.126,4 \text{ kWh/año} \cdot 0,082954 \text{ €/kWh} \cdot 0,06$$

$$\text{Cuantía complemento} = 11.970,9 \text{ €/año}$$

Complemento por eficiencia

El complemento por eficiencia viene dado por esta fórmula:

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[(1/\eta_{e.e.min}) - (1/\eta_{e.e}) \right] \cdot C_n \quad (16)$$

El Rendimiento Eléctrico Mínimo Equivalente aparece en la tabla del **Anexo I del Real Decreto 661/2007 del 25 de Mayo**. Este valdrá para este caso **45%** puesto que estamos ante una instalación la cual tiene una potencia inferior a 1MW.

Y siendo C_n el coste de materia prima. El valor de esta queda estipulado para este trimestre según la *Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común*. Establece para este trimestre este valor 0,02826 €/kWh.

Se calcula el valor del Complemento tomando como valor del Rendimientos Eléctrico Equivalente, el hallado para la demanda térmica media al año. Con ello se obtiene que:

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[(1/0,45) - (1/0,5138) \right] \cdot 0,02826$$

$$C. \text{ por Eficiencia} = 20.630,83 \text{ €/año}$$



Complemento de discriminación horaria

Esta instalación no se puede acoger debido a que el proyecto está realizado para una instalación que trabaja las 24 horas del día, es decir, durante más horas valle que punta.

$$\text{COMPLEMENTOS TOTAL} = 11.970,9 + 20.630,83 = \mathbf{32.601,74 \text{ €/año}}$$

9.2 INGRESOS ANUALES TOTALES

Los ingresos totales se hallan de esta forma:

$$\text{INGRESOS} = (E \cdot \text{Precio de la electricidad}) + \text{Complementos} - \text{Desvíos} \quad (17)$$

Los desvíos son definidos como la carencia o el exceso de electricidad que se prevé producir con respecto a la producida finalmente, es decir:

$$\text{Desvíos} = \text{Energía medida} - \text{Energía programada} \quad (18)$$

Las instalaciones están obligadas a presentar una previsión de producción al operador del mercado. Para este análisis económico, tomaremos el valor que estipula IDAE como valor de referencia, este es el 5%. Por lo que los ingresos serán

$$\text{INGRESOS} = (2.405.126,4 \cdot 0,148131) + 32.601,74 - 0,05$$

$$\text{INGRESOS} = \mathbf{388.875,47 \text{ €/año}}$$



9.3 GASTOS EN ELECTRICIDAD, O&M Y SEGUROS

También se han de tener en cuenta los gastos de electricidad anuales y gastos de operación y mantenimiento. Aquí quedan detallados:

Gastos de electricidad = 21.000 €/año

Gastos de Operación y Mantenimiento = 33.470 €/año

Seguros = 9.552,5 €/año

Gastos totales = 54.470 €/año

Según el libro *Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers*. Los gastos de operación y mantenimiento suelen ser alrededor de un 2% de la inversión inicial. Este incluye los gastos de la planta de obtención de biogás y del motor de cogeneración.

Los gastos en seguros suelen estar entre un 0,5 y un 0,65% de los costes totales de la instalación.

9.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Se analiza la rentabilidad del proyecto para los 15 años en los que el *Real Decreto 661/2007* asegura la vigencia del marco legal que establece.

9.5 INGRESOS DEL MOTOR GUASCOR SFGLD 180

Se estiman los siguientes valores del IPC con la finalidad de poder tener en cuenta la evolución económica a lo largo del periodo de 15 años citado con anterioridad.

Año	IPC %
2012	1,6
2013	2,5
2014	3
2015	3
2016	3
2017	3
2018	3
2019	3
2020	3
2021	3
2022	3
2023	3
2024	3
2025	3
2026	3

Tabla 18. Valores del IPC. Fuente: elaboración propia

Ahora se pasa a calcular la cuantía de los ingresos año a año en función de estos valores del IPC.

Se debe suponer que la energía producida durante estos 15 años no varía.

Por lo tanto, los valores del precio de mercado se calculan con la aplicación de la variación del IPC:

$$(\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i} = (\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i-1} \cdot (1 + \text{IPC\%}_{\text{año } i}) \quad (19)$$

Para los cálculos de los diferentes valores establecidos en el *Real Decreto 661/2007*, sufren la misma variación pero con un factor de corrección del IPC. Estos valores de corrección son del 0,5% para cada año. Por lo tanto las tarifas, la prima del mercado y complementos anuales, se calculan tanto con la Ecuación 25 como con la 26 obteniendo así los valores de la Tabla 19:

$$(\text{Valor})_{\text{año } i} = (\text{Valor})_{\text{año } i-1} \cdot [1 + (\text{IPC\%} - \text{Corrección\%})] \quad (20)$$

Año	Tarifa	Prima	Complementos
2012	0,1481 €	0,1187 €	32.601,74 €
2013	0,1511 €	0,1211 €	33.253,77 €
2014	0,1549 €	0,1241 €	34.085,12 €
2015	0,1549 €	0,1272 €	34.937,25 €
2016	0,1587 €	0,1304 €	35.810,68 €
2017	0,1587 €	0,1336 €	36.705,95 €
2018	0,1627 €	0,1370 €	37.623,59 €
2019	0,1627 €	0,1404 €	38.564,18 €
2020	0,1668 €	0,1439 €	39.528,29 €
2021	0,1668 €	0,1475 €	40.516,50 €
2022	0,1709 €	0,1512 €	41.529,41 €
2023	0,1709 €	0,1550 €	42.567,64 €
2024	0,1752 €	0,1589 €	43.631,83 €
2025	0,1752 €	0,1628 €	44.722,63 €
2026	0,1796 €	0,1669 €	45.840,70 €

Tabla 19. Tarifas, primas y complementos anuales. Motor Guascor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia

Con estos valores se procede a calcular los ingresos:

Año	INGRESOS
2012	388.875,47 €
2013	396.652,98 €
2014	406.569,30 €
2015	407.421,43 €
2016	417.606,97 €
2017	418.502,24 €
2018	428.964,79 €
2019	429.905,38 €
2020	440.653,02 €
2021	441.641,23 €
2022	452.682,26 €
2023	453.720,49 €
2024	465.063,51 €
2025	466.154,30 €
2026	477.808,16 €
TOTAL	6.492.221,54 €

Tabla 20. Ingresos para el motor Guascor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia

INGRESOS TOTALES = 6.492.221,54 €

Para calcular ahora los **gastos**, se realiza de la misma manera que los precios de venta marcados por el Real Decreto para esos 15 años:

$$(Gastos\ totales)_{año\ i} = (Gastos\ totales)_{año\ i-1} \cdot (1 + IPC\%_{año\ i})$$

(21)

Y los gastos anuales:

Año	Gastos
2012	64.022,50 €
2013	65.623,06 €
2014	67.591,75 €
2015	69.619,51 €
2016	71.708,09 €
2017	73.859,33 €
2018	76.075,12 €
2019	78.357,37 €
2020	80.708,09 €
2021	83.129,33 €
2022	85.623,21 €
2023	88.191,91 €
2024	90.837,67 €
2025	93.562,80 €
2026	96.369,68 €
TOTAL	1.185.279,42 €

Tabla 21. Gastos para el motor Guascor SFGLED 180. Fuente: elaboración propia

GASTOS TOTALES = 1.185.279,42 €

9.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

En este apartado, se procede al cálculo de la cuantía del préstamo o crédito que se ha de solicitar para financiar el motor de cogeneración, la planta de producción de biogás y gastos de ingeniería, obras...

Se utiliza para el cálculo del préstamo un tipo de interés adecuado para la mencionada duración de 15 años: **3,5 % T.A.E.**

El montante final del crédito será la suma de los precios de las instalaciones consideradas en cada caso, menos el capital que aportan los inversores, y menos la subvención que proporciona el



estado a la implantación de sistemas de obtención de biogás a partir del proceso de la digestión anaeróbica.

De acuerdo así con el siguiente documento oficial:

“Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.”

En este Real Decreto se establece lo siguiente:

Artículo 5. Actividad subvencionable.

1. De acuerdo a lo especificado en el artículo 41 del Reglamento (CE) nº1698/2005, del Consejo, de 20 de septiembre de 2005, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), se considerarán subvencionables las siguientes inversiones no productivas realizadas en las explotaciones para reducir las emisiones de GEI mediante el tratamiento anaeróbico de purines:

- a) Adquisición e instalación de equipos para la instalación de los digestores anaeróbicos, así como el recubrimiento flexible de las balsas de purines existentes, en su caso, en las granjas a la fecha de entrada en vigor del presente Real Decreto.*
- b) Adquisición e instalación de los sistemas de agitación, conducción, limpieza, concentración y otros acondicionamientos del biogás para su combustión o el aprovechamiento, en su caso.*
- c) Adquisición e instalación de elementos de seguridad en los digestores y sistemas de combustión o aprovechamiento del biogás.*
- d) Adquisición e instalación de equipos de control para las mediciones de emisiones anuales de metano (CH₄).*

2. No se subvencionarán las actividades que se hubieran iniciado ya en una fecha anterior a la presentación de la solicitud.

Artículo 6. Cuantía, compatibilidad y límites de las ayudas.

1. La cuantía de la subvención para las inversiones del artículo 5.1 será:

- 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 de capacidad superior a 2.000 m³: hasta 95€/m³ de digestor.*

Por tanto, con los datos de los que dispone, se calcula la subvención máxima por la utilización de los equipos indicados.

El volumen total de los digestores anaerobios que se utilizan en este proyecto es de 3800 m³, entonces la subvención teórica sería de 361.000 €, sin embargo, la cuantía máxima que se regula en la legislación aragonesa es la siguiente:



$$\text{Volumen} = 3.800 \text{ m}^3 \rightarrow \text{SUBVENCIÓN} = 237.000 \text{ €}$$

Por otro lado, como se ha indicado antes, se establece que el capital que aportan los socios para la ejecución del proyecto es:

$$\text{CAPITAL APORTADO POR LOS SOCIOS} = 200.000 \text{ €}$$

Habitualmente, esta cifra suele estar entre un 10% y un 15% aproximadamente de financiación por parte de los inversores.

9.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL GUASCOR SFGLD 240

El importe total del préstamo para este caso será el siguiente:

$$\text{Préstamo} = \text{Precio motor} + \text{Precio planta de biogás} - \text{Subvención} - \text{capital socios}$$

$$\text{Préstamo} = 256.000 + 1.700.000 - 237.000 - 200.000$$

$$\text{PRÉSTAMO } (C_o) = 1.473.500 \text{ €}$$

Se opta por un método de pago con una cuota fija de amortización la cual se calcula con la siguiente fórmula financiera de la renta anual:

$$C_n = (C_o \cdot i) / [1 - (1 + i)^{-n}] \quad (22)$$

$$\text{Siendo:} \quad i = 3,5\% \quad n = 15 \text{ años (periodo de amortización)}$$

Por lo que la cuota anual tendrá un valor de:

$$\text{Cuota anual} = 127.936,74 \text{ €}$$

Se realiza ahora una tabla en la cual quedará reflejada la evolución de gastos financieros durante los 15 años de la duración del préstamo:

Año	Interés	Importe pendiente
2.012	110.512,50 €	1.456.075,76 €
2.013	109.205,68 €	1.437.344,70 €
2.014	107.800,85 €	1.417.208,82 €
2.015	106.290,66 €	1.395.562,74 €
2.016	104.667,21 €	1.372.293,20 €
2.017	102.921,99 €	1.347.278,45 €
2.018	101.045,88 €	1.320.387,60 €
2.019	99.029,07 €	1.291.479,93 €
2.020	96.860,99 €	1.260.404,18 €
2.021	94.530,31 €	1.226.997,76 €
2.022	92.024,83 €	1.191.085,85 €
2.023	89.331,44 €	1.152.480,55 €
2.024	86.436,04 €	1.110.979,85 €
2.025	83.323,49 €	1.066.366,60 €
2.026	79.977,49 €	1.018.407,35 €

Tabla 22. Evolución del préstamo. Motor SFGLD 180. Fuente: elaboración propia

9.8 ANÁLISIS 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 con el motor AB Guascor SFGLD 180. Se realiza de los tres métodos posibles más usuales. Estos son análisis de la tasa interna de retorno también llamada TIR, 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.
- **TIR:** La tasa interna de retorno se define como el valor del interés elegido con el que se obtiene un valor neto actual igual a cero en las condiciones de la inversión, flujo de ahorros netos y tiempo especificadas. O dicho de otra forma, es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión. Éste es utilizado para decidir sobre la aceptación o el rechazo de un proyecto de inversión
- **Payback:** o también denominado periodo de retorno, se entiende el tiempo necesario para que el total de los ingresos o ahorros netos anuales de la depreciación obtenidos con el proyecto sean iguales al capital invertido. Cuanto menor sea el periodo de retorno, más atractivo resultará el proyecto.

Definiciones según: apuntes de tecnología energética, capítulo 3 "Evaluación económica de los sistemas energéticos"

Con esto se procede a analizar que el equipo con dichos gastos y beneficios que genera, sea rentable o no.

En este apartado no se tiene en cuenta el efecto de la financiación con el préstamo pero sí se mantiene el efecto de la subvención ya que esta está registrada en el *Real Decreto 949/2009*.

A continuación quedan citados los principales indicadores y magnitudes para la evaluación de la rentabilidad de la inversión con el motor Guascor SFGLD 180:

- Inversión inicial \rightarrow coste planta biogás + coste motor - subvención $\rightarrow I_0 = 1.673.500 \text{ €}$
- Inversión total (si no hubiera subvenciones) \rightarrow coste planta biogás + coste motor
- Inflación anual $\rightarrow 1,5 \%$
- Tasa de interés anual $\rightarrow 5 \%$

Se muestran ahora las tablas en las que se puede ver el desglose del estudio económico, el período de retorno (Payback), el resultado contable anual y tanto el cálculo del TIR como del VAN.

La inversión total es lo que se tendría que invertir en el caso de que los ganaderos no tuvieran ninguna subvención.

Año	Inversión total €	Préstamo €	Subvención €	Ingresos €	Gastos €	Cuotas anuales €
2.012	1.910.500	1.473.500	237.000	388.875,47	64.022,50	0
2.013	0	0	0	396.652,98	65.623,06	166.928,74
2.014	0	0	0	406.569,30	67.591,75	166.928,74
2.015	0	0	0	407.421,43	69.619,51	166.928,74
2.016	0	0	0	417.606,97	71.708,09	166.928,74
2.017	0	0	0	418.502,24	73.859,33	166.928,74
2.018	0	0	0	428.964,79	76.075,12	166.928,74
2.019	0	0	0	429.905,38	78.357,37	166.928,74
2.020	0	0	0	440.653,02	80.708,09	166.928,74
2.021	0	0	0	441.641,23	83.129,33	166.928,74
2.022	0	0	0	452.682,26	85.623,21	166.928,74
2.023	0	0	0	453.720,49	88.191,91	166.928,74
2.024	0	0	0	465.063,51	90.837,67	166.928,74
2.025	0	0	0	466.154,30	93.562,80	166.928,74
2.026	0	0	0	477.808,16	96.369,68	166.928,74

Tabla 23. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

Año	Flujo de caja €	Flujo de caja actualizado €
0	-1.673.500	-1673500
1	324.852,97	304811,61
2	331.029,92	291444,97
3	338.977,55	280030,23
4	337.801,93	261842,87
5	345.898,88	251577,88
6	344.642,90	235199,99
7	352.889,68	225970,41
8	351.548,02	211223,35
9	359.944,93	202926,14
10	358.511,89	189648,82
11	367.059,05	182191,11
12	365.528,59	170238,29
13	374.225,84	163536,36
14	372.591,51	152777,07
15	381.438,48	146755,50

Tabla 24. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

TIR	12%
------------	------------

VAN	1.596.674,58 €
------------	-----------------------

Payback	4,73 años
----------------	------------------

10 INGRESOS PARA EL MOTOR AB ECOMAX 2BIO

Ahora se procede a realizar los mismos cálculos pero para el motor Ecomax 2BIO. Primero se va a analizar la energía que se estima producir con este motor. Este posee una potencia eléctrica de este motor es de 190 kW y tiene un autoconsumo del 5%. Por lo que la energía eléctrica obtenida es:

$$E = P_{elec} \cdot h/año \cdot (1 - \text{autoconsumo } \%)$$

$$E = 190 \text{ kW} \cdot 8328 \text{ h/año} \cdot (1 - 0,05)$$

$$E = 1.503.204 \text{ kWh/año}$$

(23)

Para analizar los ingresos procedentes de la venta de energía, se puede realizar de cualquiera de las dos maneras explicadas en la introducción (estipuladas en el **art. 24.1 del RD 661/2007**), las cuales llevarán exactamente a la misma solución. Se va a realizar mediante la OPCIÓN A. Ésta queda resumida en la Ecuación 19:

$$\text{Liquidación} = \text{Tarifa} - \text{Costes de los desvíos} + \text{Complementos}$$

(24)

El precio de venta de la electricidad a tarifa viene dado en el RD 661/2007 de 25 de Mayo, de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial. Se trata de una instalación de cogeneración con biogás procedente de la digestión anaeróbica con potencias menores de 500 kW (*Grupo a.1.3; subgrupo b.7.2. en el Real Decreto 661/2007*). Por lo que, según el ANEXO III en el que aparece la actualización trimestral de las tarifas y primas del régimen especial a partir del 1 de Enero de la Orden IET/3586/2011, tendrán un valor de:

$$\text{Precio de la electricidad} = 0,148131 \text{ €/kWh}$$

Con la consiguiente prima también dada en el mismo documento citado del Real Decreto:

$$\text{Prima de referencia} = 0,116897 \text{ €/kWh}$$



10.1 COMPLEMENTOS

Complemento de energía reactiva:

Según la *Orden ITC/3519/2009*, de 28 de diciembre, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el complemento por energía reactiva tiene un valor de **0,082954 €/kWh**.

$$\text{Cuantía del complemento} = E \cdot \text{Valor del complemento} \cdot \text{Porcentaje Reactiva}$$

$$\text{Cuantía complemento} = 1.503.204 \text{ kWh/año} \cdot 0,082954 \text{ €/kWh} \cdot 0,06$$

$$\text{Cuantía complemento} = 7.481,8 \text{ €/año}$$

(25)

Complemento por eficiencia:

El complemento por eficiencia viene dado por esta fórmula:

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[\left(1/\eta_{e.e.min} \right) - \left(1/\eta_{e.e} \right) \right] \cdot C_n$$

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[\left(1/0,45 \right) - \left(1/0,6258 \right) \right] \cdot 0,02826$$

(26)

El Rendimiento Eléctrico Mínimo Equivalente aparece en la tabla del **Anexo I del Real Decreto 661/2007 del 25 de Mayo**. Este tiene un valor para este caso **45%** puesto que estamos ante una instalación la cual tiene una potencia inferior a 1MW.

Y se denomina C_n al coste de materia prima. El valor de esta queda estipulado para este trimestre según la Ley **30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común**. Establece para este trimestre este valor **0,02826 €/kWh**.

Se calcula el valor del Complemento tomando como valor del Rendimientos Eléctrico Equivalente, el hallado para la demanda térmica media al año. Con ello se obtiene que:



Complemento por eficiencia= 29.171,15 kW/año

Complemento de discriminación horaria

Esta instalación no se puede acoger debido a que el proyecto está realizado para una instalación que trabaja las 24 horas del día, es decir, durante más horas valle que punta.

$$\text{COMPLEMENTOS TOTAL} = 7.481,8 + 29.171,15 = 36.652,95 \text{ €/año}$$

10.2 INGRESOS ANUALES TOTALES

Los ingresos totales anuales serán:

$$\text{INGRESOS} = (E \cdot \text{Precio venta}) + \text{Complementos} - \text{Desvíos} \quad (27)$$

Los desvíos son definidos como la carencia o el exceso de electricidad que se prevé producir con respecto a la producida finalmente, es decir:

$$\text{Desvíos} = \text{Energía medida} - \text{Energía programada} \quad (28)$$

Las instalaciones están obligadas a presentar una previsión de producción al operador del mercado. Para este análisis económico, tomaremos el valor que estipula IDAE como valor de referencia, este es el 5%. Por lo que los ingresos serán:

$$\text{INGRESOS} = (1.503.204 \cdot 0,148131) + 36.652,95 - 0,05$$

$$\text{INGRESOS} = 259.324 \text{ €/año}$$



10.3 GASTOS APROXIMADOS EN ELECTRICIDAD, O&M Y SEGUROS

También se han de tener en cuenta los gastos de electricidad anuales y gastos de operación y mantenimiento. Aquí quedan detallados:

Gastos de electricidad = 21.000 €/año

Gastos de Operación y Mantenimiento = 34.380€/año

Seguros = 9.780 €/año

Gastos totales = 65.160 €/año

Según el libro *Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers*. Los gastos de operación y mantenimiento suelen ser alrededor de un 2% de la inversión inicial. Este incluye los gastos de la planta de obtención de biogás y del motor de cogeneración.

Los gastos en seguros suelen estar entre un 0,5 y un 0,65% de los costes totales de la instalación.

10.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Se analiza la rentabilidad del proyecto para los 15 años en los que el *Real Decreto 661/2007* asegura la vigencia del marco legal que establece.

10.5 INGRESOS DEL MOTOR ECOMAX 2BIO

Se estiman los siguientes valores del IPC con la finalidad de poder tener en cuenta la evolución económica a lo largo del periodo de 15 años citado con anterioridad.

Año	IPC %
2012	1,6
2013	2,5
2014	3
2015	3
2016	3
2017	3
2018	3
2019	3
2020	3
2021	3
2022	3
2023	3
2024	3
2025	3
2026	3

Tabla 25. Valores del IPC. Fuente: elaboración propia

Ahora se pasa a calcular la cuantía de los ingresos año a año en función de estos valores del IPC.

Se debe suponer que la energía producida durante estos 15 años no varía.

Por lo tanto, los valores del precio de mercado se calculan con la aplicación de la variación del IPC:

$$(\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i} = (\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i-1} \cdot (1 + \text{IPC\%}_{\text{año } i})$$

(29)

Para los cálculos de los diferentes valores establecidos en el Real Decreto 661/2007, sufren la misma variación pero con un factor de corrección del IPC. Estos valores de corrección son del 0,5% para cada año. Por lo tanto las tarifas, prima de mercado y complementos anuales se calculan como:

$$(Valor)_{año\ i} = (Valor)_{año\ i-1} \cdot [1 + (IPC\% - Corrección\%)]$$

(30)

En la tabla 26 quedan reflejados los resultados de las Ecuaciones 29 y 30:

Año	Tarifa	Prima	Complementos
2012	0,1481 €	0,1187 €	36.652,95 €
2013	0,1511 €	0,1211 €	37.386,01 €
2014	0,1549 €	0,1241 €	38.320,66 €
2015	0,1549 €	0,1272 €	39.278,68 €
2016	0,1587 €	0,1304 €	40.260,64 €
2017	0,1587 €	0,1336 €	41.267,16 €
2018	0,1627 €	0,1370 €	42.298,84 €
2019	0,1627 €	0,1404 €	43.356,31 €
2020	0,1668 €	0,1439 €	44.440,22 €
2021	0,1668 €	0,1475 €	45.551,22 €
2022	0,1709 €	0,1512 €	46.690,00 €
2023	0,1709 €	0,1550 €	47.857,25 €
2024	0,1752 €	0,1589 €	49.053,68 €
2025	0,1752 €	0,1628 €	50.280,03 €
2026	0,1796 €	0,1669 €	51.537,03 €

Tabla 26. Tarifas, primas y complementos anuales para el motor Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia

Con estos valores se procede a calcular los ingresos:

Año	INGRESOS
2012	259.324,01 €
2013	264.510,49 €
2014	271.123,26 €
2015	272.081,27 €
2016	278.883,31 €
2017	279.889,82 €
2018	286.887,07 €
2019	287.944,54 €
2020	295.143,15 €
2021	296.254,16 €
2022	303.660,52 €
2023	304.827,77 €
2024	312.448,46 €
2025	313.674,80 €
2026	321.516,67 €
TOTAL	4.348.169,30 €

Tabla 27. Ingresos para el motor Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia

INGRESOS TOTALES = 4.348.169,30 €

Para calcular ahora los **gastos**, se realiza de la misma manera que los precios de venta marcados por el Real Decreto para esos 15 años:

$$(Gastos\ totales)_{año\ i} = (Gastos\ totales)_{año\ i-1} \cdot (1 + IPC\%_{año\ i})$$

(31)

Y los gastos anuales:

Año	GASTOS
2012	65.160,00 €
2013	66.789,00 €
2014	68.792,67 €
2015	70.856,45 €
2016	72.982,14 €
2017	75.171,61 €
2018	77.426,76 €
2019	79.749,56 €
2020	82.142,05 €
2021	84.606,31 €
2022	87.144,50 €
2023	89.758,83 €
2024	92.451,60 €
2025	95.225,14 €
2026	98.081,90 €
TOTAL	1.206.338,50 €

Tabla 28. Gastos para el Ecomax 2BIO. Fuente: elaboración propia

GASTOS TOTALES Ecomax 2BIO = 1.206.338,50 €

10.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

En este apartado, se procede al cálculo de la cuantía del préstamo o crédito que se ha de solicitar para financiar el motor de cogeneración, la planta de producción de biogás y gastos de ingeniería, seguros...

Se utiliza para el cálculo del préstamo un tipo de interés adecuado para la mencionada duración de 15 años: **3,5 % T.A.E.**



El montante final del crédito será la suma de los precios de las instalaciones consideradas en cada caso, menos el capital que aportan los inversores, y menos la subvención que proporciona el estado a la implantación de sistemas de obtención de biogás a partir del proceso de la digestión anaeróbica.

De acuerdo así con el siguiente documento oficial:

“Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.”

En este Real Decreto se establece lo siguiente:

Artículo 5. Actividad subvencionable.

1. De acuerdo a lo especificado en el artículo 41 del Reglamento (CE) nº1698/2005, del Consejo, de 20 de septiembre de 2005, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), se considerarán subvencionables las siguientes inversiones no productivas realizadas en las explotaciones para reducir las emisiones de GEI mediante el tratamiento anaeróbico de purines:

- a) Adquisición e instalación de equipos para la instalación de los digestores anaeróbicos, así como el recubrimiento flexible de las balsas de purines existentes, en su caso, en las granjas a la fecha de entrada en vigor del presente Real Decreto.*
- b) Adquisición e instalación de los sistemas de agitación, conducción, limpieza, concentración y otros acondicionamientos del biogás para su combustión o el aprovechamiento, en su caso.*
- c) Adquisición e instalación de elementos de seguridad en los digestores y sistemas de combustión o aprovechamiento del biogás.*
- d) Adquisición e instalación de equipos de control para las mediciones de emisiones anuales de metano (CH₄).*

2. No se subvencionarán las actividades que se hubieran iniciado ya en una fecha anterior a la presentación de la solicitud.

Artículo 6. Cuantía, compatibilidad y límites de las ayudas.

1. La cuantía de la subvención para las inversiones del artículo 5.1 será:

- 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 de capacidad superior a 2.000 m³: hasta 95€/m³ de digestor.*

Por tanto, con los datos de los que dispone, se calcula la subvención máxima por la utilización de los equipos indicados.



El volumen total de los digestores anaerobios que se utilizan en este proyecto es de 3.800 m³, entonces la subvención teórica sería de 361.000 €, sin embargo, la cuantía máxima que se regula en la legislación aragonesa es la siguiente:

$$\text{Volumen} = 3.800 \text{ m}^3 \rightarrow \text{SUBVENCIÓN} = 237.000 \text{ €}$$

Por otro lado, como se ha indicado antes, se establece que el capital que aportan los socios para la ejecución del proyecto es:

$$\text{CAPITAL APORTADO POR LOS SOCIOS} = 200.000 \text{ €}$$

Habitualmente, esta cifra suele estar entre un 10% y un 15% aproximadamente de financiación por parte de los inversores.

10.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL ECOMAX 2BIO

El importe total del préstamo para este caso será el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Préstamo} &= \text{Coste del motor} + \text{Coste planta biogás} - \text{Subvención} - \text{Capital socios} \\ \text{Préstamo} &= 256.000 + 1.700.000 - 237.000 - 200.000 \end{aligned}$$

$$\text{PRÉSTAMO } (C_o) = 1.519.000 \text{ €}$$

(32)

Se opta por un método de pago con una cuota fija de amortización la cual se calcula con la siguiente fórmula financiera de la renta anual:

$$C_n = (C_o \cdot i) / [1 - (1 + i)^{-n}]$$

(33)

Siendo: $i = 3,5\%$ $n = 15$ años (periodo de amortización)

Por lo que la cuota anual tendrá un valor de:

$$\text{Cuota anual} = 131.887,3 \text{ €}$$

En la siguiente Tabla, queda comprobado que a los 15 años, con esta cuota fija quedará devuelto el préstamo:

Año	Interés	Importe pendiente
2.012	113.925,00 €	1.501.037,72 €
2.013	112.577,83 €	1.481.728,27 €
2.014	111.129,62 €	1.460.970,61 €
2.015	109.572,80 €	1.438.656,12 €
2.016	107.899,21 €	1.414.668,05 €
2.017	106.100,10 €	1.388.880,88 €
2.018	104.166,07 €	1.361.159,66 €
2.019	102.086,97 €	1.331.359,36 €
2.020	99.851,95 €	1.299.324,03 €
2.021	97.449,30 €	1.264.886,05 €
2.022	94.866,45 €	1.227.865,22 €
2.023	92.089,89 €	1.188.067,83 €
2.024	89.105,09 €	1.145.285,64 €
2.025	85.896,42 €	1.099.294,78 €
2.026	82.447,11 €	1.049.854,61 €

Tabla 29. Evolución de la Inversión. Motor Ecomax 2BIO. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el año 2.026, ya no se tendrán que pagar más cuotas anuales, esto quiere decir que el préstamo estará amortizado.



10.8 ANÁLISIS 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 con el motor AB ecomax 2BIO. Se realiza de los tres métodos posibles más usuales. Estos son análisis de la tasa interna de retorno también llamada TIR, 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.
- **TIR:** La tasa interna de retorno se define como el valor del interés elegido con el que se obtiene un valor neto actual igual a cero en las condiciones de la inversión, flujo de ahorros netos y tiempo especificadas. O dicho de otra forma, es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión. Éste es utilizado para decidir sobre la aceptación o el rechazo de un proyecto de inversión
- **Payback:** o también denominado periodo de retorno, se entiende el tiempo necesario para que el total de los ingresos o ahorros netos anuales de la depreciación obtenidos con el proyecto sean iguales al capital invertido. Cuanto menor sea el periodo de retorno, más atractivo resultará el proyecto.

Definiciones según: apuntes de tecnología energética, capítulo 3 "Evaluación económica de los sistemas energéticos"

Con esto se procede a analizar que el equipo con dichos gastos y beneficios que genera, sea rentable o no.

En este apartado no se tiene en cuenta el efecto de la financiación con el préstamo pero sí se mantiene el efecto de la subvención ya que esta está registrada en el *Real Decreto 949/2009*.

A continuación quedan citados los principales indicadores y magnitudes para la evaluación de la rentabilidad de la inversión con el motor Ecomax 2BIO:

- Inversión inicial \rightarrow coste planta biogás + coste motor - subvención $\rightarrow I_0 = 1.719.000 \text{ €}$
- Inversión total (si no hubiera subvenciones) \rightarrow coste planta biogás + coste motor
- Inflación anual $\rightarrow 1,5 \%$
- Tasa de interés anual $\rightarrow 5 \%$

Se muestran ahora las tablas en las que se puede ver el desglose del estudio económico, el período de retorno (Payback), el resultado contable anual y tanto el cálculo del TIR como del VAN.

Año	Inversión total €	Préstamo €	Subvención €	Ingresos €	Gastos €	Cuotas anuales €
2.012	1.956.000	1.519.000	237.000	259.324,01	65.160,00	0
2.013	0	0	0	264.510,49	66.789,00	172.083,31
2.014	0	0	0	271.123,26	68.792,67	172.083,31
2.015	0	0	0	272.081,27	70.856,45	172.083,31
2.016	0	0	0	278.883,31	72.982,14	172.083,31
2.017	0	0	0	279.889,82	75.171,61	172.083,31
2.018	0	0	0	286.887,07	77.426,76	172.083,31
2.019	0	0	0	287.944,54	79.749,56	172.083,31
2.020	0	0	0	295.143,15	82.142,05	172.083,31
2.021	0	0	0	296.254,16	84.606,31	172.083,31
2.022	0	0	0	303.660,52	87.144,50	172.083,31
2.023	0	0	0	304.827,77	89.758,83	172.083,31
2.024	0	0	0	312.448,46	92.451,60	172.083,31
2.025	0	0	0	313.674,80	95.225,14	172.083,31
2.026	0	0	0	321.516,67	98.081,90	172.083,31

Tabla 30. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

Se analiza el flujo de caja para obtener los valores de rentabilidad del proyecto citados:

Año	Flujo de caja €	Flujo de caja actualizado €
0	-1.719.000	-1.719.000
1	194.164,01	182.185,33
2	197.721,49	174.077,72
3	202.330,59	167.145,82
4	201.224,82	155.976,87
5	205.901,16	149.755,26
6	204.718,21	139.709,02
7	209.460,31	134.126,43
8	208.194,98	125.091,42
9	213.001,11	120.083,63
10	211.647,85	111.959,37
11	216.516,02	107.468,52
12	215.068,93	100.164,44
13	219.996,86	961.38,44
14	218.449,66	89.572,89
15	223.434,78	85.964,80

Tabla 31. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

TIR	2%
------------	-----------

VAN	220.419,95 €
------------	---------------------

Payback	8,21 años
----------------	------------------

11 INGRESOS PARA EL MOTOR ECOMAX 2.5BIO

Por último se realizarán los cálculos pertinentes para averiguar la rentabilidad de esta última opción de motor. Primero con en los anteriores motores estudiados, se va a hallar la potencia eléctrica obtenida por el motor. La potencia eléctrica de éste es de 250 kW y tiene un autoconsumo del 8%. Por lo que la energía eléctrica obtenida es:

$$E = P_{elec} \cdot h/año \cdot (1 - \text{autoconsumo } \%)$$

$$E = 250 \text{ kW} \cdot 8328 \text{ h/año} \cdot (1 - 0,08)$$

$$E = 1.915.440 \text{ kWh/año}$$

(34)

Para analizar los ingresos procedentes de la venta de energía, se puede realizar de cualquiera de las dos maneras explicadas en la introducción (estipuladas en el **art. 24.1 del RD 661/2007**), las cuales llevarán exactamente a la misma solución. Se va a realizar mediante la OPCIÓN A. Ésta queda resumida en la Ecuación 19:

$$\text{Liquidación} = \text{Tarifa} - \text{Costes de los desvíos} + \text{Complementos}$$

(35)

El precio de venta de la electricidad a tarifa viene dado en el RD 661/2007 de 25 de Mayo, de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial. Se trata de una instalación de cogeneración con biogás procedente de la digestión anaeróbica con potencias menores de 500 kW (*Grupo a.1.3; subgrupo b.7.2. en el Real Decreto 661/2007*). Por lo que, según el ANEXO III en el que aparece la actualización trimestral de las tarifas y primas del régimen especial a partir del 1 de Enero de la Orden IET/3586/2011, tendrán un valor de:

$$\text{Precio de la electricidad} = 0,148131 \text{ €/kWh}$$

Con la consiguiente prima también dada en el mismo documento citado del Real Decreto:

$$\text{Prima de referencia} = 0,118697 \text{ €/kWh}$$



11.1 COMPLEMENTOS

Complemento de energía reactiva:

Según la Orden ITC/3519/2009 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el complemento por energía reactiva tiene un valor de **0,082954 €/kWh**.

$$\text{Cuantía del complemento} = E \cdot \text{Valor del complemento} \cdot \text{Porcentaje Reactiva}$$

$$\text{Cuantía complemento} = 1.915.440 \text{ kWh/año} \cdot 0,082954 \text{ €/kWh} \cdot 0,06$$

$$\text{Cuantía complemento} = 9.533,6 \text{ €/año}$$

(36)

Complemento por eficiencia:

El complemento por eficiencia viene dado por esta fórmula:

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[\left(1/\eta_{e.e.min} \right) - \left(1/\eta_{e.e} \right) \right] \cdot C_n$$

$$C. \text{ por Eficiencia} = 1,1 \cdot \left[\left(1/0,45 \right) - \left(1/0,5346 \right) \right] \cdot 0,02826$$

(37)

El Rendimiento Eléctrico Mínimo Equivalente aparece en la tabla del **Anexo I del Real Decreto 661/2007 del 25 de Mayo**. Este valdrá para este caso **45%** puesto que estamos ante una instalación la cual tiene una potencia inferior a 1MW.

Y siendo C_n el coste de materia prima. El valor de esta queda estipulado para este trimestre según la *Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común*. Establece para este trimestre este valor **0,02826 €/kWh**.

Se calcula el valor del Complemento tomando como valor del Rendimientos Eléctrico Equivalente, el hallado para la demanda térmica media al año. Con ello se obtiene que:

$$C. \text{ por Eficiencia} = 20.939,3 \text{ kW/año}$$



Complemento de discriminación horaria

Esta instalación no se puede acoger debido a que el proyecto está realizado para una instalación que trabaja las 24 horas del día, es decir, durante más horas valle que punta.

$$\text{COMPLEMENTOS TOTAL} = 9.533,6 + 20.939,3 = \mathbf{30.472,9 \text{ €/año}}$$

11.2 INGRESOS ANUALES TOTALES

Los ingresos totales serán:

$$\text{INGRESOS} = (E \cdot \text{Precio venta}) + \text{Complementos} - \text{Desvíos} \quad (38)$$

Los desvíos son definidos como la carencia o el exceso de electricidad que se prevé producir con respecto a la producida finalmente, es decir:

$$\text{Desvíos} = \text{Energía medida} - \text{Energía programada} \quad (39)$$

Las instalaciones están obligadas a presentar una previsión de producción al operador del mercado. Para este análisis económico, tomaremos el valor que estipula IDAE como valor de referencia, este es el 5%. Por lo que los ingresos serán:

$$\text{INGRESOS} = (1.915.440 \cdot 0,148131) + 30.472,9 - 0,05$$

$$\text{INGRESOS} = \mathbf{314.208,9 \text{ €/año}}$$



11.3 GASTOS

También se han de tener en cuenta los gastos de electricidad anuales y gastos de operación y mantenimiento. Aquí quedan detallados:

Gastos de electricidad = 21.000 €/año

Gastos de Operación y Mantenimiento = 35.270 €/año

Seguros = 88.175 €/año

Gastos totales = 144.445 €/año

Los gastos de operación y mantenimiento suelen ser alrededor de un 2% de la inversión inicial. Este incluye los gastos de la planta de obtención de biogás y del motor de cogeneración.

Los gastos en seguros suelen estar entre un 0,5 y un 0,65% de los costes totales de la instalación.

Estos porcentajes se encuentran en el libro *Planning and installing bioenergy systems : a guide for installers, architects and engineers*.

11.4 ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Se analiza la rentabilidad del proyecto para los 15 años en los que el *Real Decreto 661/2007* asegura la vigencia del marco legal que establece.

11.5 INGRESOS DEL MOTOR ECOMAX 2.5BIO

Se estiman los siguientes valores del IPC con la finalidad de poder tener en cuenta la evolución económica a lo largo del periodo de 15 años citado con anterioridad.

Año	IPC %
2012	1,6
2013	2,5
2014	3
2015	3
2016	3
2017	3
2018	3
2019	3
2020	3
2021	3
2022	3
2023	3
2024	3
2025	3
2026	3

Tabla 32.Valores del IPC .Fuente: elaboración propia

Ahora se pasa a calcular la cuantía de los ingresos año a año en función de estos valores del IPC.

Se debe suponer que la energía producida durante estos 15 años no varía.

Por lo tanto, los valores del precio de mercado se calculan con la aplicación de la variación del IPC:

$$(\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i} = (\text{Precio venta mercado})_{\text{año } i-1} \cdot (1 + \text{IPC\%}_{\text{año } i}) \quad (40)$$

Para los cálculos de los diferentes valores establecidos en el *Real Decreto 661/2007*, sufren la misma variación pero con un factor de corrección del IPC. Estos valores de corrección son del 0,5% para cada año. Por lo tanto las tarifas, prima de mercado, complementos y desvíos se calculan como:

$$(\text{Valor})_{\text{año } i} = (\text{Valor})_{\text{año } i-1} \cdot [1 + (\text{IPC\%} - \text{Corrección\%})] \quad (41)$$

Año	Tarifa	Prima	Complementos
2012	0,1481 €	0,1187 €	30.472,90 €
2013	0,1511 €	0,1211 €	31.082,36 €
2014	0,1549 €	0,1241 €	31.859,42 €
2015	0,1549 €	0,1272 €	32.655,90 €
2016	0,1587 €	0,1304 €	33.472,30 €
2017	0,1587 €	0,1336 €	34.309,11 €
2018	0,1627 €	0,1370 €	35.166,84 €
2019	0,1627 €	0,1404 €	36.046,01 €
2020	0,1668 €	0,1439 €	36.947,16 €
2021	0,1668 €	0,1475 €	37.870,84 €
2022	0,1709 €	0,1512 €	38.817,61 €
2023	0,1709 €	0,1550 €	39.788,05 €
2024	0,1752 €	0,1589 €	40.782,75 €
2025	0,1752 €	0,1628 €	41.802,32 €
2026	0,1796 €	0,1669 €	42.847,37 €

Tabla 33. Tarifas, primas y complementos anuales para el motor AB ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia

Con estos valores se procede a calcular los ingresos:

Año	INGRESOS
2012	314.208,94 €
2013	320.493,12 €
2014	328.505,44 €
2015	329.301,93 €
2016	337.534,48 €
2017	338.371,29 €
2018	346.830,57 €
2019	347.709,74 €
2020	356.402,48 €
2021	357.326,16 €
2022	366.259,32 €
2023	367.229,76 €
2024	376.410,50 €
2025	377.430,07 €
2026	386.865,82 €
TOTAL	5.250.879,60 €

Tabla 34. Ingresos para el motor AB Ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia

INGRESOS TOTALES = 5.250.879,60 €

Para calcular ahora los **gastos**, se realiza de la misma manera que los precios de venta marcados por el Real Decreto para esos 15 años:

$$(Gastos\ totales)_{año\ i} = (Gastos\ totales)_{año\ i-1} \cdot (1 + IPC\%_{año\ i})$$

(42)

Y los gastos anuales:

Año	GASTOS
2012	144.445,00 €
2013	148.056,13 €
2014	152.497,81 €
2015	157.072,74 €
2016	161.784,93 €
2017	166.638,47 €
2018	171.637,63 €
2019	176.786,76 €
2020	182.090,36 €
2021	187.553,07 €
2022	193.179,66 €
2023	198.975,05 €
2024	204.944,30 €
2025	211.092,63 €
2026	217.425,41 €
TOTAL	2.674.179,95 €

Tabla 35. Gastos para el motor AB ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia

GASTOS TOTALES ECOMAX 2.5BIO = 2.674.179,95 €

11.6 ESTUDIO DE LA FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

En este apartado, se procede al cálculo de la cuantía del préstamo o crédito que se ha de solicitar para financiar el motor de cogeneración, la planta de producción de biogás y gastos de ingeniería, seguros...

Se utiliza para el cálculo del préstamo un tipo de interés adecuado para la mencionada duración de 15 años: **3,5 % T.A.E.**



El montante final del crédito (el préstamo a solicitar), será la suma de los precios de las instalaciones consideradas en cada caso es decir, la suma del precio del motor de cogeneración y los costes del sistema de biogás, menos el capital que aportan los inversores, y menos la subvención que proporciona el estado por la implantación de sistemas de obtención de biogás a partir del proceso de la digestión anaeróbica.

De acuerdo así con el siguiente documento oficial:

“Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.”

En este Real Decreto se establece lo siguiente:

Artículo 5. Actividad subvencionable.

1. De acuerdo a lo especificado en el artículo 41 del Reglamento (CE) nº1698/2005, del Consejo, de 20 de septiembre de 2005, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), se considerarán subvencionables las siguientes inversiones no productivas realizadas en las explotaciones para reducir las emisiones de GEI mediante el tratamiento anaeróbico de purines:

- a) Adquisición e instalación de equipos para la instalación de los digestores anaeróbicos, así como el recubrimiento flexible de las balsas de purines existentes, en su caso, en las granjas a la fecha de entrada en vigor del presente Real Decreto.*
- b) Adquisición e instalación de los sistemas de agitación, conducción, limpieza, concentración y otros acondicionamientos del biogás para su combustión o el aprovechamiento, en su caso.*
- c) Adquisición e instalación de elementos de seguridad en los digestores y sistemas de combustión o aprovechamiento del biogás.*
- d) Adquisición e instalación de equipos de control para las mediciones de emisiones anuales de metano (CH₄).*

2. No se subvencionarán las actividades que se hubieran iniciado ya en una fecha anterior a la presentación de la solicitud.

Artículo 6. Cuantía, compatibilidad y límites de las ayudas.

1. La cuantía de la subvención para las inversiones del artículo 5.1 será:

- 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 de capacidad superior a 2.000 m³: hasta 95€/m³ de digestor.*

Por tanto, con los datos de los que dispone, se calcula la subvención máxima por la utilización de los equipos indicados.



El volumen total de los digestores anaerobios que se utilizan en este proyecto es de 3800 m³, entonces la subvención teórica sería de 361.000 €, sin embargo, la cuantía máxima que se regula en la legislación aragonesa es la siguiente:

$$\text{Volumen} = 3.800 \text{ m}^3 \rightarrow \text{SUBVENCIÓN} = 237.000 \text{ €}$$

Por otro lado, como se ha indicado antes, se establece que el capital que aportan los socios para la ejecución del proyecto es:

$$\text{CAPITAL APORTADO POR LOS SOCIOS} = 200.000 \text{ €}$$

Habitualmente, esta cifra suele estar entre un 10% y un 15% aproximadamente de financiación por parte de los inversores.

11.7 GASTOS FINANCIEROS PARA EL ECOMAX 2.5BIO

El importe total del préstamo para este caso será el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Préstamo} &= \text{Coste motor} + \text{Coste planta biogás} - \text{Subvención} - \text{Capital socios} \\ \text{Préstamo} &= 300.500 + 1.700.000 - 237.000 - 200.000 \end{aligned}$$

$$\text{PRÉSTAMO } (C_0) = 1.563.500 \text{ €}$$

(43)

Se opta por un método de pago con una cuota fija de amortización la cual se calcula con la siguiente fórmula financiera de la renta anual:

$$C_n = (C_0 \cdot i) / [1 - (1 + i)^{-n}]$$

(44)

$$\text{Siendo: } i = 3,5\% \quad n = 15 \text{ años (periodo de amortización)}$$

Por lo que la cuota anual tendrá un valor de:

$$\text{Cuota anual} = 135.751 \text{ €}$$

En la siguiente tabla se muestra como con esa cuota anual fija, el préstamo queda devuelto en el periodo de 15 años:

Año	Interés	Importe pendiente
2.012	117.262,50 €	1.545.011,50 €
2.013	115.875,86 €	1.525.136,37 €
2.014	114.385,23 €	1.503.770,60 €
2.015	112.782,80 €	1.480.802,40 €
2.016	111.060,18 €	1.456.111,59 €
2.017	109.208,37 €	1.429.568,96 €
2.018	107.217,67 €	1.401.035,64 €
2.019	105.077,67 €	1.370.362,31 €
2.020	102.777,17 €	1.337.388,49 €
2.021	100.304,14 €	1.301.941,63 €
2.022	97.645,62 €	1.263.836,26 €
2.023	94.787,72 €	1.222.872,98 €
2.024	91.715,47 €	1.178.837,46 €
2.025	88.412,81 €	1.131.499,27 €
2.026	84862,45	1.080.610,72

Tabla 36. Evolución del préstamo. Motor ecomax 2.5BIO. Fuente: elaboración propia

Como puede apreciarse en la Tabla 37, el préstamo queda totalmente devuelto con esa cuota anual calculada anteriormente.



11.8 ANÁLISIS 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 con el motor AB ecomax 2.5BIO. Se realiza de los tres métodos posibles más usuales. Estos son análisis de la tasa interna de retorno también llamada TIR, 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.
- **TIR:** La tasa interna de retorno se define como el valor del interés elegido con el que se obtiene un valor neto actual igual a cero en las condiciones de la inversión, flujo de ahorros netos y tiempo especificadas. O dicho de otra forma, es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión. Éste es utilizado para decidir sobre la aceptación o el rechazo de un proyecto de inversión
- **Payback:** o también denominado periodo de retorno, se entiende el tiempo necesario para que el total de los ingresos o ahorros netos anuales de la depreciación obtenidos con el proyecto sean iguales al capital invertido. Cuanto menor sea el periodo de retorno, más atractivo resultará el proyecto.

Definiciones según: apuntes de tecnología energética, capítulo 3 "Evaluación económica de los sistemas energéticos"

Con esto se procede a analizar que el equipo con dichos gastos y beneficios que genera, sea rentable o no.

En este apartado no se tiene en cuenta el efecto de la financiación con el préstamo pero sí se mantiene el efecto de la subvención la cual está registrada en el *Real Decreto 949/2009*.

A continuación quedan citados los principales indicadores y magnitudes para la evaluación de la rentabilidad de la inversión con el motor AB Ecomax 2.5BIO:

- Inversión inicial \rightarrow coste planta biogás + coste motor - subvención $\rightarrow I_0 = 1.763.500 \text{ €}$
- Inversión total (en el caso de no haber subvenciones) \rightarrow coste planta biogás + coste motor
- Inflación anual $\rightarrow 1,5 \%$
- Tasa de interés anual $\rightarrow 5 \%$

Se muestran ahora las tablas en las que se puede ver el desglose del estudio económico, el período de retorno (Payback), el resultado contable anual y tanto el cálculo del TIR como del VAN.

La inversión total es la que se debería realizar en el caso de que no existieran tales inversiones.

Año	Inversión total €	Préstamo €	Subvención €	Ingresos €	Gastos €	Cuotas anuales €
2.012	2.000.500	1.563.500	237.000	314.208,94	61.260,00	0
2.013	0	0	0	320.493,12	62.791,50	177.124,59
2.014	0	0	0	328.505,44	64.675,25	177.124,59
2.015	0	0	0	329.301,93	66.615,50	177.124,59
2.016	0	0	0	337.534,48	68.613,97	177.124,59
2.017	0	0	0	338.371,29	70.672,39	177.124,59
2.018	0	0	0	346.830,57	72.792,56	177.124,59
2.019	0	0	0	347.709,74	74.976,33	177.124,59
2.020	0	0	0	356.402,48	77.225,62	177.124,59
2.021	0	0	0	357.326,16	79.542,39	177.124,59
2.022	0	0	0	366.259,32	81.928,67	177.124,59
2.023	0	0	0	367.229,76	84.386,53	177.124,59
2.024	0	0	0	376.410,50	86.918,12	177.124,59
2.025	0	0	0	377.430,07	89.525,66	177.124,59
2.026	0	0	0	386.865,82	92.211,43	177.124,59

Tabla 37. Análisis completo de la rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

Se procede a calcular ahora la rentabilidad del proyecto como se ha explicado en este capítulo. El flujo de caja equivale a los ingresos menos los gastos.

Año	Flujo de caja €	F. de caja actualizado €
0	-1.763.500	-1763500,00
1	252.948,94	237343,60
2	257.701,62	226885,35
3	263.830,20	217950,81
4	262.686,43	203618,05
5	268.920,51	195590,26
6	267.698,90	182689,90
7	274.038,01	175478,30
8	272.733,40	163868,55
9	279.176,86	157391,52
10	277.783,77	146944,54
11	284.330,65	141128,56
12	282.843,23	131729,09
13	289.492,38	126507,91
14	287.904,40	118052,05
15	294.654,39	113365,99

Tabla 38. Indicadores principales del análisis de rentabilidad de la inversión. Fuente: elaboración propia

TIR	6%
------------	-----------

VAN	775.044,48 €
------------	---------------------

Payback	6,43 años
----------------	------------------



12 CONCLUSIONES.OPCIÓN ELEGIDA

Tras los análisis efectuados a lo largo de este capítulo, se ha obtenido la rentabilidad del proyecto en el caso de que se instalase un motor u otro. Para elegir el motor seleccionado, el estudio se va a centrar en el tiempo total que se tarda en recuperar la inversión. Por ello habrá que comparar el Payback de los tres motores estudiados durante este tercer capítulo, quedándonos con el que recupere la inversión en el menor número de años. No obstante, también se ha de tener en cuenta los valores del TIR y del VAN puesto que, el método de periodo de retorno, no considera la tasa de recuperación del dinero invertido. En el caso de haber obtenido un VAN negativo para alguno de los tres motores, la posibilidad de implantación de dicho motor sería desechada automáticamente puesto que (ese valor negativo del VAN) implicaría, que este proyecto jamás sería rentable.

A continuación se realiza ese análisis de las tres opciones estudiadas en los apartados anteriores.

Que como ya se ha explicado, se seleccionará el motor con el que la inversión se recupere en el menor número de años posibles. Es decir, el motor seleccionado será el que mayor rentabilidad esté ofreciendo ante este proyecto.

Es por todo ello por lo que el motor elegido es:

Motor elegido → GUASCOR SFGLD 180

El motor elegido posee una potencia eléctrica de 304 kWe. Este puede funcionar correctamente con la cantidad de biogás producida diariamente en el digestor y también cumple con el rendimiento eléctrico equivalente (RD661/2007) siendo siempre mayor que el mínimo incluso para el mes más desfavorable. Este motor también cubre tanto la demanda térmica supliendo las necesidades de calefacción de los animales como las del digestor para la producción de biogás. Y su precio es de 210.500€

Con respecto a la rentabilidad de la inversión, tiene estas características:

- El valor de la tasa interna de retorno es:

TIR → 12 %

- Con una tasa de interés de un 5% anual se obtiene :

VAN → 1.596.674,58 €

- La inversión total se recupera **a finales del cuarto año es decir, casi en el año 2.017.**

Payback → 4,73 años

13 OPCIÓN ELEGIDA SIN SUBVENCIONES

Debido a la crisis económica que atraviesa nuestro país, el 27 de Enero de 2012, el Consejo de Ministros aprobó un Real Decreto Ley por el cual se suspenden temporalmente los procedimientos de preasignación de retribución renovable. Y se suprimen, también temporalmente, los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, residuos y cogeneración. Esto implica que la instalación no contaría con esos 237.000 € de subvenciones (por lo menos temporalmente).

A continuación se analizará el Payback para esta instalación con el motor seleccionado pero sin esas ayudas.

La inversión inicial por lo tanto será:

$$I_o = \text{Precio del motor} + \text{Precio de la planta de biogás}$$

$$I_o = 210.500 + 1.700.000 = \mathbf{1.910.500 \text{ €}}$$

Por lo que se obtendrá este flujo de caja:

Año	Flujo de caja	Flujo de caja actualizado
0	-1.910.500 €	-1.910.500,00 €
1	324.852,97 €	492.065,48 €
2	331.029,92 €	470.689,91 €
3	338.977,55 €	452.449,85 €
4	337.801,93 €	424.125,20 €
5	345.898,88 €	407.681,61 €
6	344.642,90 €	382.137,00 €
7	352.889,68 €	367.313,82 €
8	351.548,02 €	344.277,24 €
9	359.944,93 €	330.915,64 €
10	358.511,89 €	310.141,67 €
11	367.059,05 €	298.098,33 €
12	365.528,59 €	279.365,50 €
13	374.225,84 €	268.511,10 €
14	372.591,51 €	251.619,57 €
15	381.438,48 €	241.837,45 €

Tabla 39. Payback, TIR y VAN para el motor seleccionado SIN subvenciones. Fuente: elaboración propia



TIR

20%

Payback

5,4 años

VAN

3.410.729,37 €

Como se puede observar, sin las subvenciones del Estado, el inversor recuperaría su inversión un año más tarde que en el caso de tenerlas.



14 CONCLUSIONES

Ante un proyecto como este, es de destacar que la creación de instalaciones de este tipo, supone una mejora enorme en lo que respecta a la protección medioambiental. Esto se debe a la eliminación de cuantiosas cantidades de purín producidas en este tipo de explotaciones con animales. Estos purines son altamente contaminantes en elevadas concentraciones puesto que pueden llegar a contaminar aguas subterráneas fácilmente. Otra ventaja a tener en cuenta en estas instalaciones, es la gran variedad de residuos o desechos orgánicos que pueden ser utilizados para la obtención del biogás.

Por otro lado las granjas ya existentes, de por sí producen una gran cantidad de purín al día y este debe ser gestionado de la mejor manera posible. Esta mejor manera sin lugar a duda, es la de crear negocio a partir de esos desechos incómodos de gestionar de otra forma. El dueño de la granja puede obtener unas ganancias extras a través de la venta de la energía producida sumando estos a los beneficios habituales de una explotación agropecuaria.

Otra ventaja más, es la posibilidad de venta del digestato que se obtiene al final del proceso de digestión anaeróbica ya que se puede utilizar como fertilizante. También se pueden generar ingresos por la venta del biogás sobrante, aunque se ha de decir también que se necesitaría un sistema de licuado y embotellado.

Es por eso que, el planteamiento de estas instalaciones en granjas es muy ventajoso puesto que además de ayudar con la conservación del medioambiente, también supone unos ingresos mayores.

Con respecto a la rentabilidad económica de este proyecto, se ha de tener presente lo antes mencionado con respecto a las subvenciones. En Enero ha salido una nueva normativa en el Real Decreto de 27 de enero de 2012 por el cual, suspende temporalmente las subvenciones para este tipo de instalaciones de Régimen Especial. Por lo que el Payback aumentaría, siendo recuperada la inversión a mitad del quinto año de funcionamiento de la planta. Y es por ello que, como cabría de esperar, no todo son ventajas. Los ganaderos pueden encontrarse con dificultades para obtener financiación para el proyecto debido esencialmente a las dificultades por las que España atraviesa en estos momentos.

Por otro lado esta planta podría disminuir su Payback obteniendo así mayor rentabilidad, si la instalación tuviera una demanda térmica mayor. La razón que si ésta se aumenta, pueden ser instalados motores con una mayor potencia eléctrica obteniendo así una cantidad mayor electricidad. Por lo que habrá mayores beneficios obtenidos a través de la venta de la electricidad a la red. Para aumentar esta demanda térmica podría asociarse con una instalación agropecuaria cercana, o realizarse en una granja de mayores magnitudes.

No obstante, a pesar de las dificultades económicas por las que atraviesa el país, las ventajas superan con creces a los inconvenientes y es por eso por lo que los ganaderos deberían animarse a invertir en este tipo de instalaciones de cogeneración.



15 AGRADECIMIENTOS

A la empresa Guascor por la información suministrada con respecto a los motores de cogeneración. A Antonia Gil del departamento de Ingeniería mecánica del área de máquinas y motores térmicos, y a la consultora Asic por las recomendaciones que me han dado y por guiarme en este proyecto, así como a la empresa Grupo Syder.

Y en especial a mi familia y amigos por su incondicional apoyo diario.

A todos ellos, gracias.

16 BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de la asignatura de tecnología energética.
- IDAE07 Biomasa y digestores anaeróbicos. Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Madrid, octubre 2007.
- Cuantificación de materias primas de rígen ganadero. Consorcio PROBIOGÁS. Ministerio de Ciencia e Innovación. Octubre 2009.
- IDEA05 Ahorro y eficiencia energética en instalaciones ganaderas. Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Madrid, octubre 2005.
- M.J. MORAN y H.N. SHAPIRO: Fundamentos de la termodinámica técnica., editorial REVERTÉ, S.A.
- M.BIGERIEGO : La producción porcina en España y el medio ambiente. Normativa e implementación, Madrid, junio 2001
- Red eléctrica España. Liquidación de la energía del régimen especial. XI Edición.
- James &James (Science Publishers) Ltd in UK and USA in 2005. Planning and installing bioenergy systems : a guide for installers, architects and engineers.

Sitios web:

- Guascor Power: <http://www.guascor.com/>
- AB Energy: <http://www.gruppoab.it>
- Caterpillar: <http://www.cat.com>



- BOE (tarifas): http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2009-21173
- Comisión Nacional de Energía: [Comisión Nacional de Energía www.cne.es](http://www.cne.es)
- Finanzauto: <http://www.finanzauto.es>
- ABT grupo: <http://www.abt-grupo.com/>
- Asociación Española de Biogás: www.aebig.org

Legislación:

- **Real Decreto 661/2007**, del 25 de Mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.
- **Orden ITC/3519/2009**, del 28 de Diciembre, por la que se revisan los peajes de acceso a partir del 1 de Enero del 2010 y las tarifas y primas de las instalaciones en Régimen Especial.



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



ANEXOS



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

