



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

IMPLANTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN UNA PLANTA GANADERA. ESTUDIO DE VIABILIDAD

Alumno: Alberto Padilla Nieto

Tutor: Prof. Dñ. Eloísa Torres Jiménez
Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

Noviembre, 2016

Índice

1.	Justificación del Proyecto	3
2.	Objetivos del Estudio	5
3.	Introducción	6
4.	El biogás como energía alternativa	8
4.1	Introducción.....	8
4.2	¿Qué es el biogás?	9
4.3	El biogás y la Electricidad	10
	• Motores de Cogeneración.....	11
	• Microturbinas	12
	• Combustibles para vehículos.....	12
	• Pilas de combustible.....	12
4.4	El biogás en Europa.....	13
4.5	El biogás en España.....	14
4.6	Legislación del biogás	14
	• Legislación Europea	14
	• Legislación Nacional.....	15
	• Legislación Autonómica.....	16
5.	Estado del Arte	17
5.1	Tecnologías desarrolladas para la obtención de biogás.	17
5.2	Tecnologías desarrolladas en la purificación del biogás.	17
	• Eliminación CO ₂	17
	• Eliminación Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	19
7.	Propuesta Energética para el estudio de viabilidad.....	22
7.1	Introducción.....	22
7.2	Fases del Desarrollo.....	22
	• Estudio de la Emisión de Metano.....	22
	• Estudio del consumo energético de la instalación.....	22
	• Cerramiento	22
	• Extractores, Ventiladores, Impulsores y Tuberías	23



• Filtros.....	23
• Uso del Biogás.....	24
8. Recopilación de Datos para el estudio	25
8.1 Introducción.....	25
8.2 Estado Actual de la Planta	25
• Emisión de metano entérico en rumiantes.....	25
• Consumo energético actual de la planta	27
8.3 Esquema de la instalación.....	27
8.4 Componentes de la instalación	28
• Impulsor.....	28
• Ventilador	28
• Soplador.....	29
• Extractor	29
• Filtros.....	30
• Tuberías	31
• Compresor	32
• Depósito de Gas.....	32
• Sistema de Automatización	33
• Sistema de Cogeneración:	33
• Cerramiento	33
8.5 Cálculos	36
9. Presupuesto y Rentabilidad	39
9.1 Presupuesto	39
9.2 Rentabilidad.....	44
10. Conclusiones.....	45
11. Introducción en el Mercado	46
12. Aplicaciones Futuras.....	47
13. Agradecimientos	48
14. Referencias.....	49

1. Justificación del Proyecto

El interés de este proyecto surgió cuando leí un artículo de un periódico. Este artículo mostraba cómo la ganadería afecta al calentamiento global basándose en la cantidad de metano que los animales expulsaban a la atmósfera y cómo esa cantidad aumentaba con el paso de los años.

Entre otros datos curiosos, el que más llamó mi atención, fue la gran cantidad de metano que expulsaban los rumiantes a través de eructos y flatulencias: entorno a unos 300-700 litros al día por vaca. Tras leer dicha noticia, empecé a pensar en cómo la sociedad podría aprovechar esas grandes concentraciones de metano, sabiendo que las economías de muchos países provienen del cuidado de estos animales, como ocurre por ejemplo en Nueva Zelanda, Holanda o cualquier país de Sudamérica. Además, el poder aprovechar este recurso, produciría grandes beneficios mundiales: ayudaría a abaratar los costes de la electricidad, disminuiría el calentamiento global, aumentaría el número de animales en la ganadería y, sobre todo, ayudaría a cumplir varios términos del tratado de Kioto.

De esta forma, mi interés aumentó, ya que no existía hasta al momento, ninguna forma de reciclar ese metano. La mayoría de las investigaciones encontradas que abordan este tema, buscan reducir las emisiones a través de dietas específicas que disminuyan la producción de metano en el tracto digestivo de los rumiantes. Creía que era un campo al que no se le había dado la importancia suficiente, hasta que llegó a mis manos otro artículo en el que un hombre había atado una pequeña mochila de plástico a la espalda de una de sus vacas y había conectado la entrada de la mochila al ano del animal a través de un tubo, acumulando en dicha mochila todo el metano de forma directa. Aun así, pensé que este proceso no sería rentable, ya que en instalaciones donde el número de cabezas de ganado sea muy elevado, el precio de las bombonas, junto con el de los operarios encargados de vaciar y recolocar las bombonas, incrementaría considerablemente el precio del producto.

Tras leer una gran cantidad de artículos acerca del tema, llegué a la conclusión de que la mejor forma de aprovechar este residuo, era generar electricidad haciéndolo pasar por una turbina o motor. Pero llegados a este punto, aparecieron más preguntas: ¿Cuál era la concentración de metano óptima?, ¿Cómo purificar dicho metano?... Gracias a la profesora *M^a Dolores La Rubia*, quien me comentó las investigaciones que se



estaban realizando acerca de la *Zeolita*, averigüé que este mineral es capaz de retener partículas de CO_2 mediante el proceso de la adsorción.

Finalmente, pensé en cómo retener el metano dentro de la nave donde guardan a los animales., la única solución que encontré fue realizar un cerramiento de dicha nave con recirculación del aire, haciendo que varios ventiladores introdujesen aire en el interior, mientras que otros se encargarían de absorber el metano concentrado en el techo de la nave. La menor densidad del metano, en comparación con la del aire, favorece el aumento de la concentración de este gas inflamable en la parte superior de la nave. Consecuentemente, se podrían instalar unos extractores en este lugar que dirigirían el gas hacia los filtros, donde se separaría el metano del CO_2 y del N_2 . Una vez purificado el metano, se llevaría a un depósito de almacenamiento, donde se barajarán dos posibilidades para su uso: alimentar un motor de combustión para generar electricidad para autoconsumo o venderlo directamente. La elección de una u otra opción dependería de cuál de ellas es la más rentable.



2. Objetivos del Estudio

Este estudio pretende conseguir múltiples objetivos relevantes para nuestra sociedad:

- Aprovechamiento de los gases de efecto invernadero, expulsados por los rumiantes, a través de eructos y flatulencias.
- Disminuir las emisiones de metano a la atmósfera, ya que este es uno de los gases más influye en el efecto invernadero.
- Generar electricidad gracias al uso de un motor de combustión interna utilizando el biogás obtenido.
- Repoblar las zonas más rurales, debido a la necesidad de personal cualificado para el control, mantenimiento y la construcción de la instalación.
- Reducir el uso de combustibles fósiles.

3. Introducción

El Protocolo de Kioto se firmó para tratar de evitar el cambio climático reduciendo los gases de efecto invernadero que afectan a nuestra atmósfera: Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso; además de otros tres gases industriales fluorados. Los países participantes en este acuerdo, entre ellos España, buscan las maneras de aumentar el uso de energías limpias y renovables, como la energía solar, eólica, geotérmica.... De entre todas ellas, hay que destacar las investigaciones e instalaciones en torno al biogás, además de buscar distintas maneras de aminorar las emisiones de gases contaminantes, entre ellos, el metano.

La producción de biogás se centra en vertederos y biodigestores, estos últimos trabajan con material orgánico residual, como purín, estiércol, astillas, etc.; generando, gracias a la descomposición anaeróbica de dicho material orgánico, biogás, que es un combustible gaseoso gracias al metano que contiene.

En España el 73,2 % del biogás obtenido proviene de vertederos, lo cual generará un problema de abastecimiento en el futuro ya que, según el último acuerdo realizado por la Directiva de vertederos, se pretende disminuir la cantidad de materia orgánica depositada en los vertederos, reduciendo, consecuentemente, la cantidad de biogás que se pueda obtener de ellos. Esto hace que la producción de biogás se centre en los biodigestores, pero, al no haber leyes suficientes que regulen este tipo de biogás, su crecimiento es muy lento. El biogás presenta un gran potencial energético. Aumentar la producción de biogás permitiría abaratar los precios de la electricidad, reduciría considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por industrias ganaderas y, por último, ayudaría a repoblar las zonas más rurales debido a la necesidad de trabajadores especializados para llevar a cabo la creación y mantenimiento de las instalaciones (Ministerio de Medio Ambiente, 2010).

Por ello, pretendo determinar la viabilidad de un nuevo sistema de obtención de biogás, con el que, no solo España, sino todos los países cuya producción ganadera sea un pilar importante de su economía, puedan aprovechar las ventajas de este combustible. De esta manera se podrían abaratar los costes eléctricos, tanto para la industria ganadera como para resto de la sociedad. Además, y como ya se ha comentado



anteriormente, se conseguiría disminuir de una manera considerable las emisiones de metano a la atmósfera, así como evitar el despoblamiento de las zonas rurales.

4. El biogás como energía alternativa

4.1 Introducción

El crecimiento continuo de la población lleva consigo un aumento del consumo de combustibles fósiles, que junto con los pesticidas utilizados en la agricultura y la necesidad de más animales en la ganadería, provocan un aumento del calentamiento global. Por ello, la búsqueda de energías alternativas es una de las prioridades de nuestro tiempo. Esto provoca que, en su mayor parte, la demanda energética es satisfecha por los combustibles de origen fósil, los cuales se extinguirán en un futuro cercano. Por ello, las energías renovables se presentan como una buena alternativa para afrontar dicho problema.

Entre otras energías renovables (solar, eólica, geotérmica...), existen los biocombustibles, los cuales son combustibles obtenidos a partir de materia orgánica. Esta fuente tiene cada vez más importancia en nuestra sociedad, como se pudo constatar en la *Feria de Biocombustibles* celebrada en Valladolid en 2008 y que contó con la participación de más de 10.000 visitantes y unos 360 expositores dedicados a este tipo de energía. Dentro de los biocombustibles existen diferentes tipos según su origen y uso (Ministerio de Medio Ambiente, 2010; Isabel & Díaz, 2008).

Hoy en día, el uso de la biomasa tiene un papel muy significativo en Europa, ya que representa un 65% de las energías renovables utilizadas. Además, se pretende que en el año 2020 la bioenergía utilizada para el uso eléctrico sea del 20%, siendo en la actualidad nada más que de un 8,5%.

A continuación, gracias a la información facilitada por el ministerio de medio ambiente, hablaremos sobre sus propiedades y su actividad a nivel español y europeo (Ministerio de Medio Ambiente, 2010).

4.2 ¿Qué es el biogás?

El biogás se suele obtener de la descomposición anaerobia de materia orgánica y es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), aunque en la mayoría de los casos, según la forma en la que se obtenga, podemos encontrar distintas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) e hidrógeno (H_2), teniendo una composición aproximada a la mostrada en la *Tabla 1*.

Cuadro I: Composición Porcentual del biogás (Werner et al, 1989)	
Componente	Composición %
Metano (CH_4)	40-70
Dióxido de Carbono (CO_2)	30-60
Sulfuro de Hidrogeno (H_2S)	0-3
Hidrogeno (H_2)	0-1
Oxígeno (O_2)	0-1
Nitrógeno (N_2)	0-5

Tabla 1. Composición porcentual del biogás.

Existen dos tipos de biogás, los cuales ya se han nombrado y se explican más detalladamente en el apartado de “Estado del Arte”: biogás de vertederos y de digestores. El menos agresivo con el medio ambiente, debido a su bajo contenido de impurezas, es el agroindustrial. En este tipo de biogás es común que aparezca sulfuro de hidrogeno (H_2S), suele encontrarse en alcantarillas y aguas estancadas. Este gas es altamente tóxico y corrosivo y se produce por digestión anaeróbica. La eliminación del H_2S es fundamental para conseguir conducir y almacenar fácilmente el biogás.

Debemos destacar que el producto obtenido de esta propuesta energética no puede considerarse biogás, aunque literalmente lo sea, ya que según la Real Academia Española se define como biogás:

“Biogás: Gas obtenido por la degradación anaerobia de residuos orgánicos mediante bacterias, que se puede utilizar como combustible”.

Según esta definición, nuestro producto no puede ser calificado como biogás, ya que, aunque el gas procede de una fuente animal y renovable, no es producto de la fermentación de materia orgánica.

Aun siendo conscientes de esta diferencia, en todos los casos, ya sea el producto de nuestra propuesta o cualquiera de los tipos de biogás nombrados anteriormente, el valor energético depende exclusivamente del porcentaje de metano que este contenga, siendo el poder calorífico de este gas de 11.973 Kcal/m³ (Isabel & Díaz, 2008; Varnero, Carú, Galleguillos, & Achondo, 2012).

4.3 El biogás y la Electricidad

Para comprobar el gran potencial energético que puede llegar a tener el biogás, debemos compararlo con otro tipo de combustibles gaseosos, como puede ser el gas natural. El gas natural está formado aproximadamente por un 100% de metano, mientras que el biogás agroindustrial suele contener un 65%, así que podemos decir que 1m³ de biogás, equivale a 0,65 m³ de gas natural. Por otra parte, la cantidad de metano necesario para obtener 10 kWh es de 1m³, por lo que, teniendo en cuenta la riqueza del biogás y el rendimiento de la máquina (supondremos entorno al 40%), podemos estimar que 1 m³ de biogás puede producir unos 2,8 kWh. A continuación, en la *Tabla.2* mostraremos la equivalencia del biogás, con respecto a otros combustibles fósiles:

1 m³ Biogás Agroindustrial (70% CH₄ + 30% CO₂)	Equivalencias energéticas:		Cantidad:
	Alcohol Combustible	de	1,2 L
	Gasolina		0,8 L
	Gas natural		0,6 m³
	Electricidad		6,8 kWh
	Madera		1,5 Kg
	Fuel-Oil		0,71 L
	Carbón		0,3 Kg

Tabla 2. Equivalencias energéticas entre distintos combustibles comunes.

Para sacar el máximo aprovechamiento energético del biogás existen diferentes opciones según lo refinado que sea el biogás (*Figura 2*).

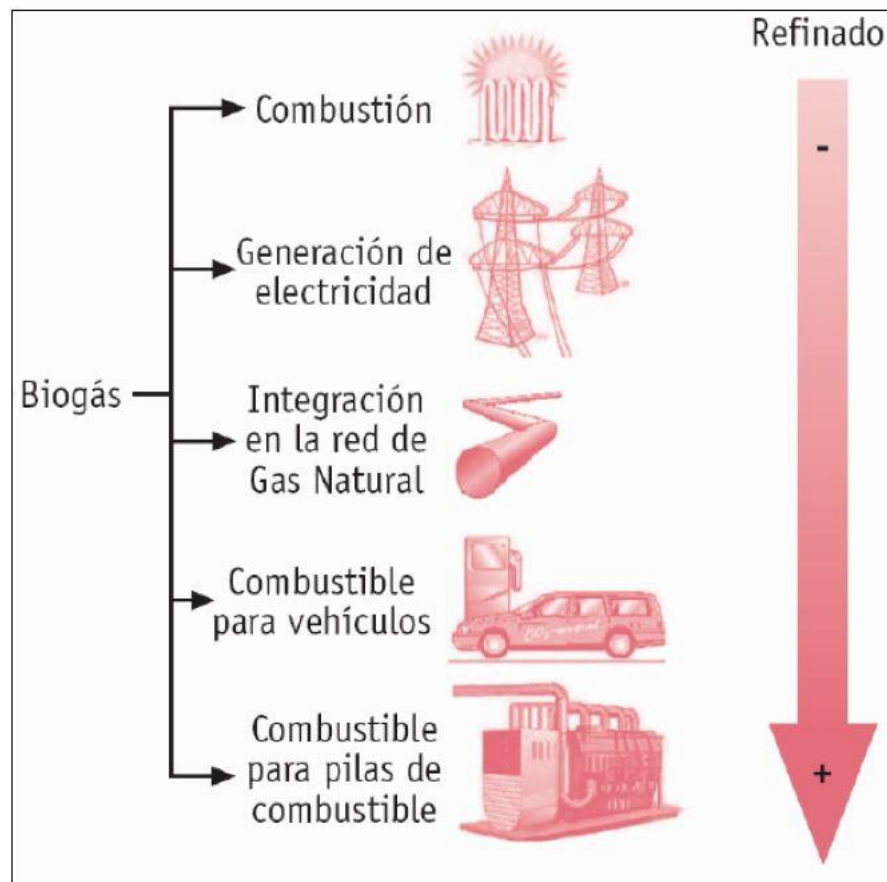


Figura 2. Aprovechamiento del biogás según su concentración. Fuente Colección de informes de vigilancia tecnológica Madrid

Así, los diferentes tipos de aprovechamiento energético para el biogás son:

- Motores de Cogeneración: Los motores son los sistemas más utilizados para la producción de energía. De ellos se puede obtener energía eléctrica, proporcionada por un alternador unido al eje del cigüeñal del motor y, además, energía térmica producida por el aprovechamiento de los gases de escape. Estos motores suelen tener un rendimiento energético bastante elevado, alrededor de un 85 %. Para que el biogás pueda utilizarse en estos motores, la concentración de metano no debe ser menor al 40 %. (ministerio España)



- Microturbinas: Estos dispositivos se utilizan cuando la potencia demanda es pequeña (entre 30 y 200 kW). Mientras que las turbinas producen potencias más elevadas (500 kW-30 MW). En este caso, la pureza del biogás puede ser menor que en los motores de cogeneración (35% CH₄), aunque el rendimiento eléctrico es más reducido que en los motores, entorno al 20%.
- Combustibles para vehículos: Este campo para el biogás no es nada nuevo. El gas natural como combustible se lleva utilizando desde hace tiempo, y se estima que reduce las emisiones del CO₂ en un 20%. Para que el biogás llegue a ser funcional en vehículos debe tener una pureza del 96%. Cabe destacar que los motores que utilizan biogás como combustible presentan un mayor rendimiento debido a la disminución del consumo energético, por el contrario, la autonomía que presentan es bastante baja y el arranque es muy lento. Además, habrá que tener en cuenta, si se utilizan este tipo de dispositivo, que el biogás puede sustituir en un 100% a la gasolina inyectada y en un 80% en los motores diésel (debido al bajo punto de ignición del biogás, es imposible que haya explosión ya que estos motores carecen de bujía (Zapata, 1998)).

Aun así, en ciudades como Madrid o Barcelona existen transportes urbanos impulsados por biogás. En otros países como Suecia, el uso del biogás está muy extendido, tanto que en 2006 ya existían 11.500 vehículos que utilizaban exclusivamente metano como combustible.

- Pilas de combustible: Las pilas de combustible, son sistemas que producen energía eléctrica gracias a reacciones químicas. Este tipo de pilas no se acaban y no necesitan ser recargadas ya que mientras se suministre el combustible y el oxidante, no dejan de funcionar. Para que el biogás sea funcional con este tipo de instalaciones, debe ser depurado concienzudamente, para posteriormente ser transformado en hidrógeno, ya que el proceso para su funcionamiento es inverso al de electrólisis ($H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + \text{Electricidad}$).

Para finalizar, mencionar que el biogás puede ser suministrado a la red de gas natural, recibiendo el nombre de biometano. Para que esto sea posible debe contener un 97% de metano. Países, como Francia,

Alemania o Suecia, ya han establecido los estándares para la calidad del biogás, mientras que en España no se dispone de ninguna especificación.

4.4 El biogás en Europa

Según la directiva de la Comunidad Europea, el uso de residuos orgánicos y animales, como el purín o el estiércol, para producir biogás, tiene un gran potencial ambiental debido a la reducción de gases de efecto invernadero. Además, ayuda al desarrollo de las zonas rurales, ofreciéndoles nuevos caminos de inversión.

La biomasa tiene una gran importancia a nivel europeo, ya que representa el 67% de las energías renovables consumidas, según la Agencia de Medio Ambiente Europea todavía no se ha conseguido obtener todo su potencial.

En la siguiente figura podemos observar los principales productores de biogás, expresando las cantidades en kilo tonelada equivalente de petróleo (ktep):

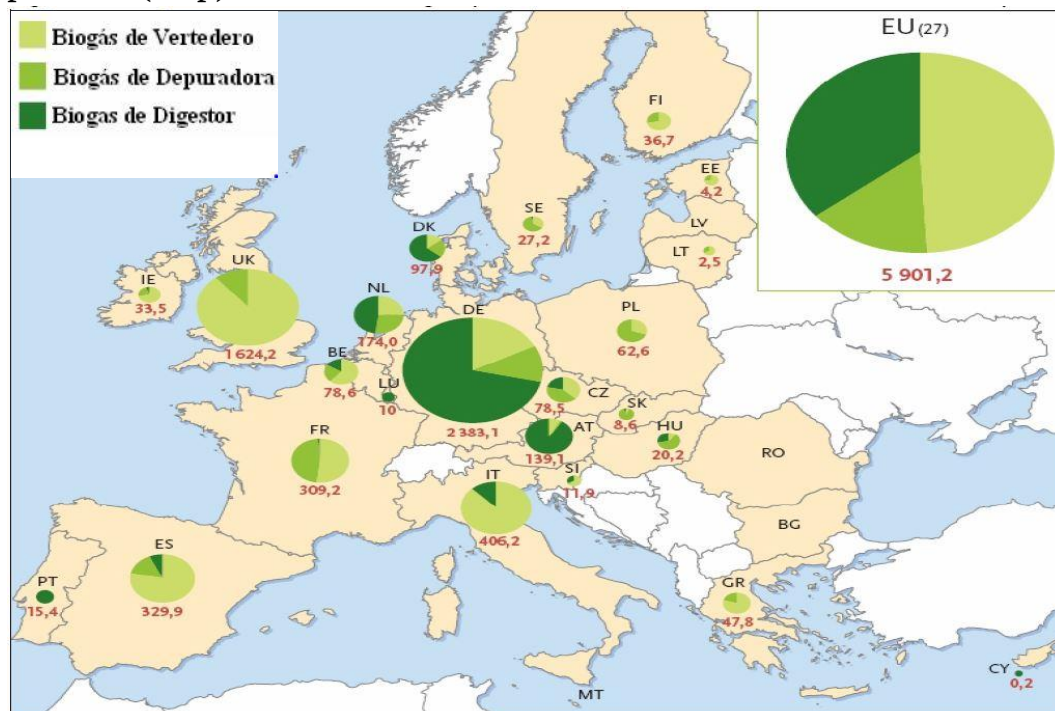


Figura 3. Principales productores de Biogás en Europa

Como podemos observar en la figura 3, Europa produce un 5910,2 ktep, de los cuales el 50% proviene de vertederos, 35% de digestores y el 15 de depuradoras. Destacan Alemania y Reino Unido que se



sitúan a la cabeza como productores de biogás, siendo Alemania el productor del 40% del total europeo. Por otro lado, España se sitúan en cuarto lugar entre los 10 países más productores de Unión Europea, aunque el sector de los biodigestores no esté muy desarrollado (6% del total de producción de biogás mientras que en Alemania representa el 70%), la mayor parte de su producción proviene de vertederos, en torno al 79%.

4.5 El biogás en España

España obtiene biogás principalmente de los vertederos, pero esta fuente de está comenzando a disminuir, ya que la nueva Directiva pretende, entre otros objetivos, disminuir la cantidad de materia orgánica almacenada.

Por otro lado, una vez que se optimicen y se instalen todas las depuradoras de aguas residuales en los principales núcleos urbanos, esta fuente también quedará estancada.

Por estos motivos, se está promoviendo el aprovechamiento del potencial agroindustrial de España para generar biogás, para ello se busca la manera de controlar y revisar este producto con el fin de establecer unas leyes que lo regulen. En la mayoría de países europeos, la obtención del biogás se ha efectuado gracias a los cultivos energéticos, pero en España, debido a nuestras condiciones climatológicas, no es rentable, mientras que el tratamiento de *Subproductos Animales No Destinados Al Consumo Humano* (SANDACH) parece una manera más factible de obtener biogás.

4.6 Legislación del biogás

- *Legislación Europea*

- Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se



modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Reglamento (CE) N° 1774 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
- Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento(CE) n° 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).
- Reglamento (CE) N° 185/2007 de la Comisión, de 20 de febrero de 2007, por el que se modifican los Reglamentos (CE) n° 809/2003 y /CE) n° 810/2003 en lo relativo a la validez de las medidas transitorias para las plantas de compostaje y biogás contempladas en el Reglamento (CE) n° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Reglamento (CE) N° 92/2005 de la Comisión, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de los subproductos animales y se modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas.
- Reglamento (CE) N° 208/2006 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.

- *Legislación Nacional*

- Resolución del MITYC de 7 de abril de 2010, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publican los valores del coste de la materia prima y del coste base de la materia prima del gas natural para el primer trimestre de 2010, a los efectos del cálculo de complemento de eficiencia y los valores retributivos de las instalaciones de



cogeneración y otras en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

- Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan
- determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la
- cogeneración.
- Plan de Energías renovables 2005-2010 (aprobado en Consejo de Ministros 26 de agosto de 2005).
- Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

- *Legislación Autonómica*

- Comunidad Autónoma de Andalucía, Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética en Andalucía.
- Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, Ley 1/2007, de 15 de febrero, de fomento de las energías renovables e incentivación del ahorro y la eficiencia energética en Castilla La Mancha.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Ley 10/2006, de 21 de diciembre, de energías renovables y ahorro y eficiencia energética de la Región de Murcia

5. Estado del Arte

Nuestra propuesta innova en dos campos: en la obtención del biogás y en la purificación de éste. A continuación, diferenciaremos y explicaremos resumidamente las tecnologías desarrolladas en ambos campos:

5.1 Tecnologías desarrolladas para la obtención de biogás.

Antes de nombrar las distintas tecnologías, resaltar que todas ellas utilizan el método de digestión anaeróbica de residuos orgánicos para obtener biogás (Ambiente, 2010):

- **Biogás de Vertedero:** Es el biogás procedente del sellado de vertederos de residuos orgánicos urbanos. Según la composición de estos residuos, el biogás puede presentar impurezas de clorados, fluorados o siloxanos.
- **Biogás de Digestores:** Dentro de este grupo existen tres subcategorías según la procedencia de las materias orgánicas: Biogás de depuradoras urbanas que se obtiene del tratamiento anaeróbico de los fangos de las plantas de tratamiento de aguas residuales; Biogás de FORSU (fracción orgánica de los residuos urbanos) y el Biogás Agroindustrial de donde la materia orgánica utilizada proviene de los residuos agrícola, ganadero o forestal.

5.2 Tecnologías desarrolladas en la purificación del biogás.

Gracias a los estudios realizados, podemos encontrar en el mercado una gran cantidad de formas de purificar el biogás que son mostradas a continuación (Betzabet, 2014):

- **Eliminación CO_2**
 - a. **Absorción física**
 - Limpieza con Agua: La limpieza con agua consiste en limpiar el biogás crudo con agua presurizada a contracorriente, eliminando los compuestos indeseados como el dióxido de carbono y los contaminantes ácidos. Finalmente, el agua se limpia y depositada en una torre de

arrastre de vapor o aire. Es un método simple, requiere poca infraestructura, de bajo presupuesto y gran efectividad. El único inconveniente es el elevado consumo de potencia en el bombeo y circulación del fluido por la instalación.

- Limpieza con Solventes físicos: Este proceso consiste en absorber de manera física los contaminantes del biogás y posteriormente, por medio del calor o la despresurización, se limpia el absorbente

b. ***Absorción química***

Este método forma enlaces químicos entre el solvente y el soluto. Los tres agentes más utilizados para purificar el biogás son NaOH, KOH y Ca(OH)_2 . La velocidad de absorción y las turbulencias del biogás son factores a tener en cuenta a la hora de calcular la cantidad absorbida.

c. ***Adsorción en una superficie sólida***

Este proceso de adsorción hace atravesar el crudo de biogás por una superficie sólida, el cual está formado generalmente por sólidos granulares. Estos sólidos removerán las partículas de CO_2 , humedad y otras impurezas, además, según la elección del absorbente, se podrá seleccionar qué impurezas eliminar. Tiene grandes ventajas, como deshumidificador y tener un diseño sencillo y fácil de operar. Por el contrario, suele ser un proceso costoso, debido a las altas caídas de presión y calor.

d. ***Separación por membrana***

Este proceso se basa en la permeabilidad selectiva del biogás a través de membranas poliméricas. En la mayoría de los casos estas membranas se encargan de retener las partículas de metano dando lugar a un biogás muy rico en metano (88%) o incluso llegar a una pureza del 94% a presiones de 40 bar,

generando al mismo tiempo un gas de salida de alto contenido en CO₂ y menos de un 12% de metano.

e. ***Separación criogénica***

Utilizando destilaciones a baja temperatura se logra la separación de gases por condensaciones fraccionadas, este proceso se realiza a 80 bar. Tiene la ventaja de obtener biogás rico en metano en forma líquida. Podemos diferenciar dos etapas criogénicas: licuefacción de metano y de dióxido de carbono. Se suelen emplear varias etapas de calor en contracorriente para enfriar la mezcla.

f. ***Método de conversión química***

La conversión química es un método bastante costoso, pero con el que se consigue una gran purificación del biogás. Uno de estos métodos es la metanización, el cual, a partir de una mezcla de H₂ y CO₂, obtenemos metano y agua gracias a una conversión catalítica.

• ***Eliminación Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)***

g. ***Procesos de absorción***

Este proceso consiste en eliminar, de forma física o química, el sulfuro de hidrógeno de la mezcla de gases. La limpieza física consiste en hacer pasar el gas a través de un solvente, generalmente agua a la que se le añaden ciertos compuestos químicos (como NaOH) para mejorar el proceso de absorción. Por otro lado, la absorción química se potencia con sales de hierro, como el cloruro de hierro, que gracias a los precipitados insolubles eliminan las impurezas del gas. Suele utilizarse en digestores pequeños, donde la concentración del sulfuro de hidrógeno también es pequeña. Para una limpieza a gran escala los otros métodos son más económicos y viables.

h. **Adsorción en una superficie sólida**

- **Óxido de Hierro:** En este caso, el biogás atraviesa el óxido de hierro, con el que reacciona transformándolo en sulfuro de hierro. Este tratamiento tiene una eficiencia del 99,98%, aunque es muy sensible cuando existen grandes cantidades de agua.
- **Carbón Activado (CA):** De la misma forma que el óxido de hierro, el gas reacciona con el CA para eliminar el sulfuro de hidrógeno. Por otro lado, el CA tiene una afinidad relativamente baja y por tanto sus aplicaciones para eliminar el H_2S son limitadas. La capacidad y el rendimiento dependen del pH del entorno del carbón con el pH en el entorno del poro.

i. **Separación por membranas**

Para conseguir la reducción de H_2S en el biogás, además de reducir también el contenido CO_2 , se utilizan membranas con diferentes zeolitas. Se ha confirmado que las zeolitas hidrofílicas tienen unas capacidades de adsorción del H_2S mejores que otras, aun así, no son el método más práctico para este fin.

j. **Procesos de oxidación seca**

Este método consiste en añadirle aire y/o hidrógeno al biogás, de esta forma el sulfuro de hidrógeno reacciona con dichos gases, haciendo que el sulfuro del biogás se oxide en azufre. Es un proceso simple, de bajo costo y que no necesita de equipos altamente cualificados. Además, en función de la temperatura, presión y tiempo de reacción, se puede llegar a disminuir hasta un 95%.

k. **Procesos de separación biológicos**

Debido a los inconvenientes que presentan los procesos químicos como, por ejemplo: altos costes de instalación y elevados consumos, se han investigado tratamientos biológicos como alternativa para eliminar el H_2S . En este tipo de procesos, se introducen bacterias que, gracias a sus capacidades metabólicas, transforman el H_2S en compuestos de azufre, cuya eliminación es mucho más fácil. Para seleccionar una bacteria adecuada deben considerarse ciertas características: capacidad de convertir el H_2S a S^0 , mínima entrada de nutrientes y fácil separación del S^0 de la biomasa. Para que los microorganismos puedan tratar el biogás, se necesita un sistema donde puedan realizar dicho proceso, ya sea, manteniéndolos inmovilizados o en suspensión. Así los más destacados son:

- **Biofiltros**: Es un biorreactor de 3 fases, con alta porosidad, alta capacidad de amortiguación, alta disponibilidad de nutrientes y alta retención de humedad. Gracias a este proceso se produce una saturación rápida de las impurezas contenidas en el biogás.
- **Biofiltros Percoladores**: Funcionan de la misma forma que los Biofiltros, con la excepción, de que son continuamente humedecidos por goteo, con una solución acuosa con alto contenido nutricional (nitrógeno, fósforo o potasio). A diferencia de los biofiltros, los filtros percoladores no sufren una disminución del rendimiento a largo plazo.
- **Biolavadores**: Es un proceso de dos etapas, la primera produce la absorción del H_2S por un líquido, seguido de la oxidación biológica del H_2S en el líquido.

7. Propuesta Energética para el estudio de viabilidad

7.1 Introducción

Como hemos visto, existen numerosas aplicaciones y formas de producción para el biogás. Aun así, no se han estudiado todos los caminos para su obtención. Mi propuesta, consiste en una nueva forma de obtener biogás gracias a una fuente inusual, las flatulencias de los animales, más concretamente de los rumiantes, ya que son los culpables del 20% del efecto invernadero del planeta, a causa de las grandes cantidades de metano expulsado a la atmósfera (Vargas, J., E. Cárdenas, M. Pabón, 2012).

Este proyecto consiste en estudiar la viabilidad de un sistema que aproveche dichas emisiones para obtener biogás, utilizarlo para obtener electricidad o almacenarlo para venderlo. También se conseguirá reducir los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera. Consiguiendo así dos requisitos de nuestra sociedad actual: la demanda energética y la reducción del efecto invernadero. Además, podemos complementar dicho sistema con los existentes actualmente (biodigestores, energía solar...).

7.2 Fases del Desarrollo

Las fases para la ejecución de dicho proyecto son las siguientes:

- **Estudio de la Emisión de Metano:** Necesitaríamos realizar un estudio preliminar de la planta para saber la cantidad de biogás que podríamos obtener de la instalación, teniendo en cuenta distintos factores como: cantidad de gases expulsados por los rumiantes, número de cabezas de ganado, etc.
- **Estudio del consumo energético de la instalación:** Necesitaríamos, igualmente, determinar el gasto energético actual de la instalación estudiada. Este sería uno de los factores a incluir al cuantificar la viabilidad de la inversión.
- **Cerramiento:** el establo en la que se vaya a realizar la instalación deberá cerrarse, ya que las vaquerías actuales suelen estar abiertas al exterior, como podemos observar en la figura 4. Se planteará un cerramiento adecuado para tal fin.



Figura 4. Configuración de un establo común en zonas cálidas.

- **Extractores, Ventiladores, Impulsores y Tuberías:** Serán los encargados de conducir la mezcla de gases (metano+aire) a lo largo de la instalación:
 - Ventiladores de Entrada:** Habrá que instalar uno o varios ventiladores, para que renueven el aire del interior del establo.
 - Extractores de Salida:** los extractores serán los encargados de succionar la mezcla de aire-metano desde la parte superior del establo.
 - Sopladores:** se utilizarán para expulsar el aire utilizado en la limpieza de los filtros.
 - Impulsores:** darán la velocidad necesaria a la mezcla de gases tras la extracción.
- **Filtros:** Gracias a una serie de filtros situados en la instalación, podremos obtener biogás más puro, es decir con una mayor concentración de metano.
 - Rejilla para filtrar el Aire:** Será la primera “barrera” de la instalación y se encargará de atrapar sólidos en suspensión (ramas, insectos...).
 - Filtro de N₂ y CO₂:** Es quizás la parte más importante, está formado por Zeolita-13X y Carbón Molecular (CMS), siendo su único fin, aumentar el porcentaje de metano en el biogás, mediante la eliminación de los siguientes componentes del aire: dióxido de carbono y nitrógeno.



- **Uso del Biogás:** Según los resultados que obtengamos en el estudio de viabilidad, podremos dar dos usos al biogás obtenido en la instalación, tras almacenarlo en un depósito:

-Producción de electricidad para autoconsumo: Podemos utilizar el biogás obtenido para obtener electricidad gracias a una microturbina de gas o un motor de combustión interna.

-Venta: En el caso de que sea más rentable, también tenemos la opción de vender el biocombustible, por ejemplo, a plantas de energía.

En función de la cantidad de biogás que se pueda obtener de la instalación, se contemplará la opción de combinar ambos usos, es decir, utilizar parte del biogás para producir la electricidad que necesita el establo y vender el excedente.

8. Recopilación de Datos para el estudio

8.1 Introducción

Para nuestra propuesta energética, la fuente de la que obtendremos el biogás es un poco inusual, ya que se trata de las flatulencias producidas por los rumiantes. Dichas flatulencias pueden considerarse como un biogás debido a su alto contenido en metano. El metano tiene una gran repercusión sobre el medio ambiente ya que produce efecto invernadero. En concreto, el 50% de las emisiones de metano tienen origen agrícola y el 30% son origen antropogénico (Solomon et al., 2007). La mayoría de las soluciones encontradas en el proceso de investigación de la presente propuesta se fundamentan en disminuir estas emisiones gracias a una serie de dietas (Vargas, J., E. Cárdenas, M. Pabón, 2012).

Por ello, la idea de aprovechar dicha fuente tiene dos importantes beneficios en nuestra sociedad. Por un lado, está la obtención de energía renovable y por otro, la disminución de los gases de efecto invernadero a nivel mundial.

8.2 Estado Actual de la Planta

Como ya hemos mencionado anteriormente, las actuaciones propuesta permite combinar el uso del biogás con otras tecnologías ya instaladas en la planta (biodigestores, paneles solares...), es decir, que no interfiere con otras instalaciones.

En esta propuesta, vamos a considerar los datos facilitados gracias a las entrevistas realizadas a distintos dueños de vaquerías de la zona de Granada.

- *Emisión de metano entérico en rumiantes*

El metano liberado por los rumiantes al medio ambiente viene dado por la fermentación que se produce en su tracto digestivo, dando lugar a la acumulación sobre todo de CO_2 y CH_4 . Se libera en forma de eructos y flatulencias a la atmósfera (M., García-Rebollar, Estelles, & Torres, 2008).

Este metano liberado afecta significativamente a nuestro planeta, ya que aumenta el efecto invernadero. Además, estas emisiones han aumentado considerablemente con el paso de los años, debido a la

demanda alimenticia de la población que conlleva provoca un aumento en el uso de pesticidas en la agricultura y un incremento de las cabezas de ganado. En España la ganadería es la culpable del 35% de las emisiones de metano, siendo el ganado bovino el causante de un 60% del mismo. Por ello la investigación en la disminución de las emisiones de metano nos ayudaría a aumentar la productividad animal (M. et al., 2008).

La cantidad de metano que un rumiante puede expulsar viene condicionada por distintos factores como: la edad, especies, peso y dieta. Cabe destacar que, entre todos estos factores, el más influyente es el alimento, ya que la calidad de este y sobre todo la cantidad, provoca que el proceso de fermentación en el estómago se alargue y que aumente la cantidad de metano en el animal. Se ha estimado que se emiten 500 millones de toneladas de metano al año, de los cuales los rumiantes son culpables de unos 100 millones, siendo la especie que más contribuye al calentamiento global (Mahecha 2002), ya que un rumiante adulto es capaz de producir entre 250 y 500 litros de metano al día. Según los estudios de la FAO la emisión de metano entérico al día es de 350 a 750 litros. De esta cantidad, la mayor parte se expulsa por eructos (95%), mientras que por flatulencias es el 5% restante (Elena & Varón, 2011; Johnson & Johnson, 1995; Solís et al., 2006).

Contribución (%) de los distintos tipos de rumiantes a las emisiones de CH₄ en España

Vacas productoras carne	39
Vacas de ordeño	26
Terneros de Cebo	21
Animales de recría	12
Sementales	2

Tabla 3. Contribución de los distintos tipos de rumiantes a las emisiones de metano.

Para nuestro estudio otros datos relevantes a tener en cuenta son: la densidad del metano 0,7 kg/m³ y el poder calorífico 50095,032 kJ/kg.

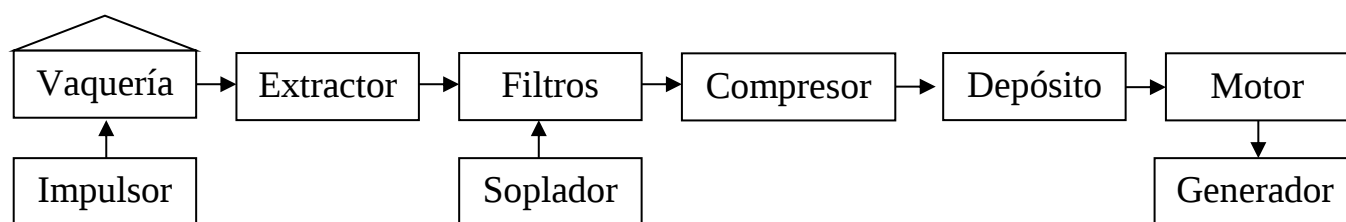
- *Consumo energético actual de la planta*

Gracias a los datos tomados en una explotación de ganado vacuno en la comunidad autónoma de Castilla y León, tenemos a nuestro alcance el consumo anual producido por este tipo de instalaciones que mostraremos a continuación (Bartolomé et al., 2011):

Consumo eléctrico	kWh/año
Tanque de frío	6030
Bomba de vacío	8984
Iluminación	1182
Ventilación	1476
Termo eléctrico	1032
Cintas de limpieza	5244
Otros	3466
Total	27414

Tabla 4: Consumo eléctrico de vaquería en Castilla y León

8.3 Esquema de la instalación



8.4 Componentes de la instalación

• Impulsor

Serán los encargados de impulsar el aire a lo largo de la tubería, sus características son (empresa Sodeca):



Figura 5: Impulsor
NEOSILENT

NEOSILENT: Extractores en línea para conductos de bajo nivel sonoro, con rodamientos a bolas de Larga duración.

Velocidad Max. (rpm)	Potencia Eléctrica Max. (kW)	Caudal Max. (m³)	Nivel sonoro (dB)
1650/2310	0.025/0.030	230/340	23/28

Ventilador

- Envolvente en chapa de acero
- Aislado térmica y acústicamente con lana de roca
- Envolvente interior perforado para facilitar la absorción del ruido
- Caja de bornes externa
- Instalación rápida y sencilla

Motor

- Motores con rodamientos a bolas de Larga Duración, protección IPX4 de dos velocidades
- Monofásicos 220-240V 50/60 Hz
- Temperatura de trabajo: -10°C + 60°C

Tabla 5: Características impulsores de conductos

• Ventilador

Estos serán los encargados de renovar el aire en el interior del establo, sus características son (empresa Sodeca):



Figura 6: Ventilador
HCD

HCD: Ventiladores helicoidales murales, con hélice en chapa de aluminio, motores de espera de sombra y cable de conexión incorporado. Antichispas

Velocidad Max. (rpm)	Potencia Eléctrica Max. (kW)	Caudal Max. (m³)	Nivel sonoro (dB)
1350	0.036	560	38

Ventilador

- Marco soporte en chapa de acero.
- Hélice en chapa de aluminio
- Rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 12499:2010
- Dirección aire motor-hélice
- Motores clase B, con cojinetes de fricción autolubricados, protección IP54.
- Monofásico 230V-50 Hz
- Temperatura de trabajo: -25°C + 50°C

Motor

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C, previo desengrase

Acabado

con tratamiento nanatecnológico libre de fosfato.

Bajo demanda

- Bobinados especiales para diferentes tensiones.

Tabla 6: Características ventiladores para renovación de aire

• *Soplador*

Serán los encargados de limpiar los filtros después de cada extracción (empresa Sodeca):



Figura 7: Soplador CA/LINE

CA/LINE: Extractores circulares en línea para conductos, con rodamientos a bolas de larga duración.

Velocidad Max. (rpm)	Potencia Eléctrica Max. (kW)	Caudal Max. (m ³)	Nivel sonoro (dB)
2460	0.074	260	33

Ventilador

- Envolvente en chapa de acero
- Caja de bornes externa
- Instalación rápida y sencilla
- Pie soporte incluido

Motor

- Motores con rodamientos a bolas de Larga duración, protección IPX4 y regulables
- Monofásicos 220-240V 50/60 Hz
- Temperatura de trabajo

Acabado

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos

Tabla 7: Características Soplador del filtro

• *Extractor*

Estos serán los encargados de recoger el metano del cielo de la nave, además, como podremos observar en las características, estos extractores son antichispas al igual, que el ventilador, el soplador y el impulsor (empresa Sodeca).



Figura 8: Extractor CJMP/AL

CJMP/AL: Ventiladores en aluminio con certificado de cumplimiento de la norma UNE-60-601-2006 y de acuerdo a las necesidades en salas de calderas de gas natural.

Velocidad Max. (rpm)	Potencia Eléctrica Max. (kW)	Caudal Max. (m³)	Nivel sonoro (dB)
1370	0.09	275	55

Ventilador	- Turbina con álabes hacia delante en chapa de aluminio - CMP/AL: Envoltente en chapa de aluminio - CJMP/AL: Estructura en chapa de acero galvanizado
Motor	- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55 - Monofásicos 230V-50Hz - Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C
Acabado	CMP/AL: Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C, precio desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos. CJMP/AL: Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.
Bajo demanda	- Bobinados especiales para diferentes tensiones - Certificación ATEX Categoría 2

Tabla 8: Características extractor de gases

• Filtros

Serán los encargados de purificar el metano. Nuestro filtro estará formado por 2 componentes: zeolita 13X y carbón activado 3K. La zeolita absorberá el dióxido de carbono de la mezcla de gases, mientras que el carbón activo será quien adsorba el nitrógeno. Además, el filtro se limpiará con un flujo a contrarriente proveniente del depósito, el cual será una cantidad mínima en comparación con la cantidad acumulada.



Figura 9: Zeolita 13x

Artículo	Ud	Datos técnicos			
		Pellet		Esfera	
Forma					
Diámetro	Mm	1.5-1.7	3.0-3.3	1.7-2.5	3.0-5.0
Tamaño relación hasta el grado	%	≥98	≥98	≥96	≥96
Densidad aparente	G/ml	≥ 61	≥ 61	≥ 64	≥ 64
Llevar la relación	%	≤ 10	≤ 20	≤ 10	≤ 10
Resistencia a la compresión	N	≥/Cm	≥45/cm	≥/Piece	≥65/piece
Adsorción de agua estática	%	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 5
Estática adsorción de CO2	%	≥	≥	≥	≥
Contenido de agua, como enviado	%	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

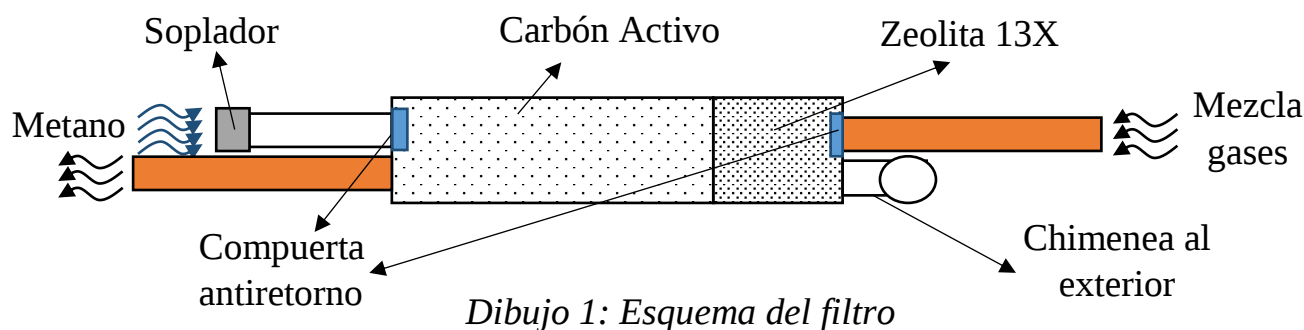
Tabla 9: Características de Zeolita 13X



Figura 10: Carbón Activo

Especificaciones	Superior	Primera clase	Segunda clase
Valor de adsorción yodo mg/g	1000	950	900
Caspa resistencia %>	95	95	90
Pérdida en la sequedad % <	10	10	10
Granularidad (24-50) %>	90	90	90
Hierro total cantidad % <	0.10	0.10	0.15
Packdensity g/ml	0.40-0.50	0.40-0.50	0.40-0.50
PH	5-7	5-7	5-7

Tabla 10: Características del Carbón Activo



- Tuberías

Serán las encargadas de dirigir el metano adsorbido a lo largo de la instalación, hasta el depósito. Las características son las siguientes:



Tubo de cobre estirado en frío sin soldadura, diámetro D=85/89 mm y 2 mm de espesor, según UNE-EN 1057, con el precio incrementado el 15% en concepto de accesorios y piezas especiales.

Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de cobre estirado en frío sin soldadura, diámetro D=85/89 mm.

- *Compresor*

Este compresor será el encargado de introducir la mezcla de gas en el depósito a una presión de 8 bar:



Figura 11: Compresor de gas

Model	HC1100A
Rated voltage/frequency(V/Hz)	your requirements
Input power (W)	≤1100W
Rated working pressure (Bar)	8Bar
Rated volume flow	7.2m3/h @8Bar
Maximum working pressure transient (Bar)	9(Bar)
Noise dB(A)	≤68dB(A)
The use of environmental temperature °C	—5—+40 °C
Insulation Class	B
Cold insulation resistance (normal) MΩ	≥100 MΩ
Withstand voltage strength	1500V/s 1min No break
Thermal protector	135±5°C
Weight (kg)	18Kg
Dimension (mm)	305×156×288 mm
Restart pressure (Bar)	0 (Bar)

Tabla 9: Características compresor de gases

- *Depósito de Gas*

Sera el encargado de almacenar el metano obtenido en la instalación y trabaja a una presión de 8 bar. Las características son:



Figura 12: Depósito de gas

Depósito homologado de gases licuados del petróleo (GLP), de superficie, de chapa de acero, "REPSOL", de 1200 mm de diámetro y 6250 mm de longitud, con una capacidad de 6650 litros. Tratamiento exterior: granallado SA 2 1/2, imprimación antioxidante y acabado con esmalte de poliuretano color blanco. Incluso capó abatible, boca de carga, indicador de nivel

magnético, tubo buzo para toma de fase líquida, valvulería, manómetro, tapón de drenaje, accesorios de conexión, borne de toma de tierra y elementos de protección según normativa.

- *Cerramiento*

Para el cerramiento, debemos tener en cuenta la climatología de la zona. En nuestro supuesto consideramos un clima cálido, por ello no necesitaremos ningún tipo de aislante. Hemos seleccionado una fachada perfilada de acero como la de la Figura 5.



Chapa perfilada nervada de acero S320 GD (según UNE-EN 10346) galvanizado de 0,6 mm espesor y 30 mm altura de cresta.

Figura 13: Fachada de chapa perfilada de acero

- *Sistema de Automatización*

Será la parte encargada de controlar los sensores de metano y la puesta en marcha de cada uno de los componentes de la instalación. Los componentes, a grandes rasgos serán:

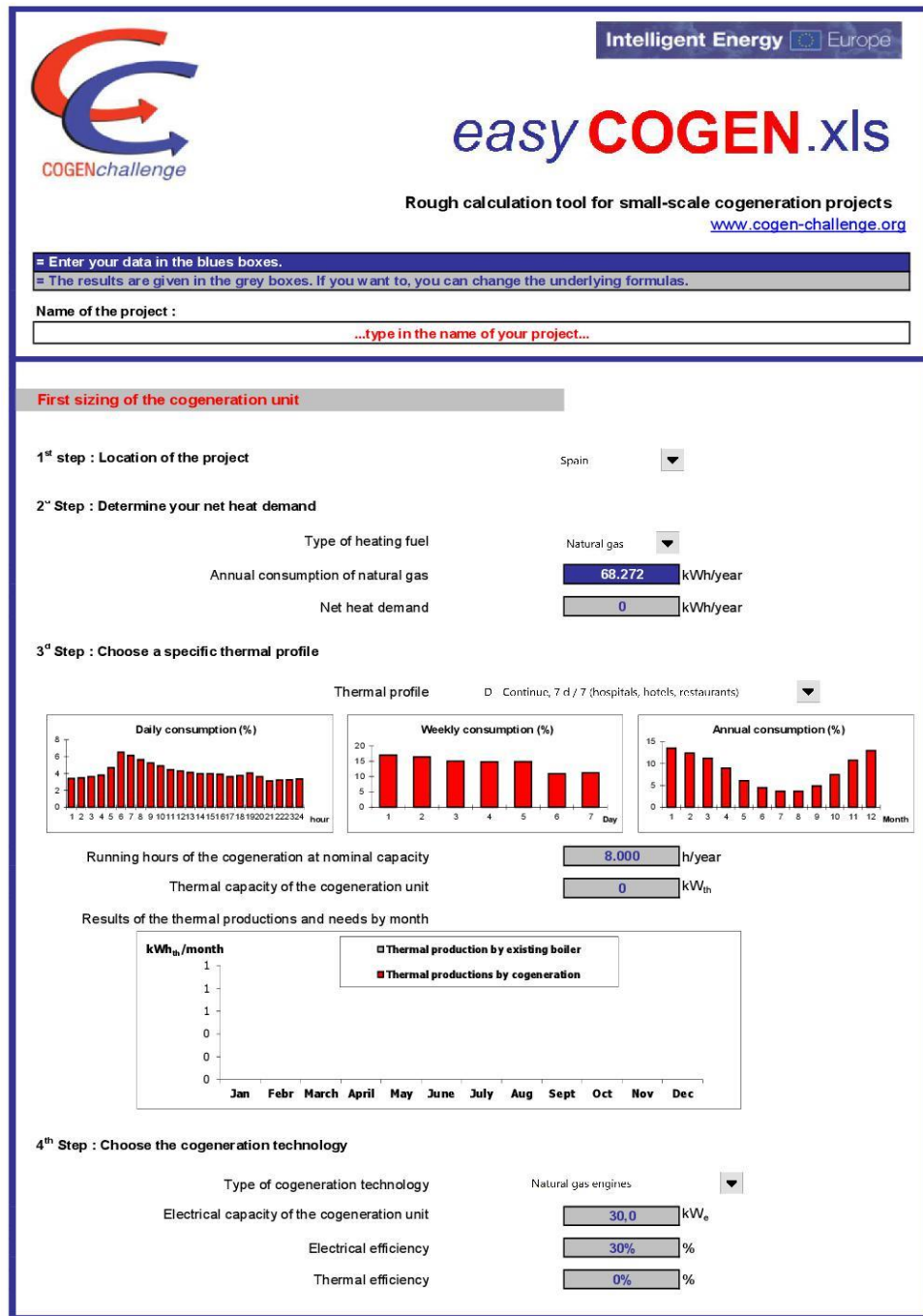
-Sensores de metano: Se encargarán de tomar lecturas de la concentración de metano a una altura de 39cm del techo, que es la altura que ocupan los 55m³ de metano a lo largo de todo el techo de la nave.

-Controlador: El controlador se encargará de poner en funcionamiento toda la instalación. Es decir, cuando los sensores adviertan un 60% de metano, el controlador activará los extractores y al poco tiempo los impulsores y el compresor. Una vez terminado este proceso, activará los sopladores que limpian el filtro.

- *Sistema de Cogeneración:*

Será el encargado de transformar la energía de la mezcla de gases en energía eléctrica por medio de un motor de combustión de gas. Para estimar el coste de la inversión de este sistema hemos utilizado una hoja Excel (easyCOGEN.xls), elaborada por la Fundación Asturiana de la Energía (FAEN), la cual, rellanada con los datos necesarios, obtenemos el total de la inversión y los beneficios anuales (Figura 14;

Figura 15). Además, ya que no sabemos los picos de potencia que pueden llegar a alcanzar este tipo de instalaciones, supondremos que necesitamos un sistema que pueda generarnos 30kW, conscientes de que seguramente es mucho mayor que el necesario (Fundación Asturiana de la Energía, 2007).



easyCOGEN.xls
Rough calculation tool for small-scale cogeneration projects
www.cogen-challenge.org

1st step : Location of the project
Spain

2nd Step : Determine your net heat demand
Type of heating fuel: Natural gas
Annual consumption of natural gas: 68.272 kWh/year
Net heat demand: 0 kWh/year

3rd Step : Choose a specific thermal profile
Thermal profile: Continuous, 7 d / 7 (hospitals, hotels, restaurants)

Daily consumption (%)
Bar chart showing consumption percentage over 24 hours.

Weekly consumption (%)
Bar chart showing consumption percentage over 7 days.

Annual consumption (%)
Bar chart showing consumption percentage over 12 months.

Running hours of the cogeneration at nominal capacity: 8.000 h/year
Thermal capacity of the cogeneration unit: 0 kW_{th}

Results of the thermal productions and needs by month
Bar chart showing kWh_{th}/month for Thermal production by existing boiler and Thermal productions by cogeneration.

4th Step : Choose the cogeneration technology
Type of cogeneration technology: Natural gas engines
Electrical capacity of the cogeneration unit: 30,0 kW_e
Electrical efficiency: 30%
Thermal efficiency: 0%

Figura 14: Hoja Excel easyCOGEN



COGENchallenge

Intelligent Energy  Europe

easy COGEN.xls

Rough calculation tool for small-scale cogeneration projects
www.cogen-challenge.org

■ Enter your data in the blues boxes.
 ■ The results are given in the grey boxes. If you want to, you can change the underlying formulas.

Name of the project : ...type in the name of your project...

Profitability of the cogeneration unit

5th Step : Determine your profits from producing electricity

Annual electricity consumption	30,106	kWh _e /year
Annual electricity bill	4,200	€/year
Average electricity price	14,0	c€/kWh _e
Electrical production from the cogeneration unit	240,000	kWh _e /year
Profit from the electricity production	30,133	€/year

6th Step : Determine your profits from producing heat

Annual bill for natural gas	0	€/year
Average fuel cost	0,0	c€/kWh of natural gas
Thermal production from the cogeneration unit	0	kWh _{th} /year
Profit from the heat production	0	€/year

7th Step : Determine the expense from the cogeneration

Annual cogeneration consumption	788,935	kWh of natural gas/year
Cost of natural gas for the cogeneration	0,00	c€/kWh
Expense for the cogeneration consumption	0	€/year
Expense for the maintenance	-6,197	€/year

8th Step : Determine the profitability of your cogeneration project

Total initial investment	74,000	€
Investment support (ratio)	0%	%
Net investment for a cogeneration "all include"	74,000	€
Extra support for Spain :	39,273	€/year
Annual profit from the cogeneration	63,209	€/year
Simple Pay Back Time of the investment	1,2	years

Conclusion

This cogeneration project seems to be an opportunity for you because of a positive annual profit and an attractive simple pay back time.
 To go ahead, you can order a feasibility study to get more accurate results.

Figura 15: Hoja Excel easyCOGEN

8.5 Cálculos

Antes de mostrar los cálculos realizados, debemos advertir que, hemos utilizado datos medios. A continuación, mostraremos las siguientes consideraciones para los cálculos:

- Trataremos el metano como gas ideal, esto influirá a la hora de comprimir el metano para introducirlo en el depósito.
- Supondremos que debido a la alta densidad del oxígeno su contenido será mínimo a la hora de la extracción y por tanto no tendremos problemas con los límites de explosividad (5-15%).
- Supondremos que el metano extraído tiene una pureza del 60%.
- Supondremos una media de 500 litros de metano al día.
- El tiempo de funcionamiento de los ventiladores será de 2h, aunque debemos resaltar que puede ser menor o mayor.

Estancia Establo	24	horas
Nº Vacas	110	unidades
Densidad Metano (ρ)	0,7	kg/m ³
Densidad Aire	1,293	kg/m ³
PCI Metano	50095,032	kJ/ kg
Dimensiones establo	20x60x4.3	m
Volumen establo	4140	m ³

Tabla 10: Datos conocidos

Partiendo de los supuestos mencionados calcularemos los kWh/año que podemos obtener:

- Generación de metano total de las vacas:55 m³/día
- Extracción de mezcla aire-metano:55 m³/día
- Concentración de metano en la mezcla:60 %
- Pérdidas en el filtro:66,2%
- Energía Bruta (EB): 766063,248 kJ/día

$$EB = 55(\text{m}^3) \cdot 0,6 \cdot 0,662 \cdot 0,7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 50095,032 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

➤ Energía Producida Anual (EPA):..... 68271,84 kWh/año

$$EPA = 11(\text{mes/año}) \cdot \frac{766063,248 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{día}} \right)}{85400 \left(\frac{\text{seg}}{\text{día}} \right)} \cdot 24 \left(\frac{\text{hora}}{\text{día}} \right) \cdot 30 \left(\frac{\text{días}}{\text{mes}} \right)$$

Como hemos supuesto una pureza del 60% de metano, y al igual que en el experimento de *Cavenati*, tras hacer pasar el flujo de gases por el filtro dicha pureza aumentará hasta 88,8%. El paso por el filtro también influirá en la cantidad, de los 55m³ que extraemos solo 33m³ son de metano, de los cuales solo el 66,2 % atravesarán el filtro (Cavenati, Grande, & Rodrigues, 2006).

Aclarar también que el sistema de cogeneración trabajará 11 meses al año, en total unas 8000 horas, con un 91% de disponibilidad, estimando un tiempo de parada de 760 horas aproximadamente para realizar labores de mantenimiento (Velasco, 2009).

➤ Energía consumida adicional:

Por otro lado, para saber cómo nuestra instalación aumenta el consumo de la vaquería, debemos conocer el tiempo de funcionamiento de cada uno de los componentes. Por ello, a excepción del grupo electrógeno, que trabaja el 90% del año, el resto de componentes de la instalación tendrán un funcionamiento intermitente.

Para saber la energía consumida por la instalación, hemos multiplicado la potencia que necesita cada componente por el número de horas que trabaja al año, obteniendo así la siguiente tabla:

	Unidades	Potencia (kW/ud)	Pot.Total (kW)	Funcionamiento (h/día)	Funcionamiento (h/año)	Consumo (kWh/año)
Extractor	10	0,09	0,9	0,02	6,7	6,03
Ventilador	10	0,036	0,36	2	730	262,8
Impulsor	10	0,03	0,3	0,02	6,7	2,01
Soplador	2	0,095	0,19	0,03	10,05	1,9095
Compresor	1	1,1	1,1	0,02	6,7	7,37
Automatización	1	0,3	0,3	24	8040	2412
Total	-	-	3,15	0,02	-	2692,1195

Tabla 11: Potencia eléctrica, tiempo de funcionamiento y consumo de la instalación

$$\text{Consumo} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) = \text{Pot.Total}(\text{kW}) \cdot T.\text{Funcionamiento} \left(\frac{\text{h}}{\text{año}} \right)$$

Para comprender totalmente la tabla anterior, debemos aclarar ciertos detalles. El primero es que el funcionamiento de los extractores es intermitente, ya que los 10 extractores que componen la instalación serán capaces de absorber los 55 m³ de la mezcla de gases en un tiempo de 72 s. El mismo tiempo que supondremos del funcionamiento de los impulsores, los sopladores y el compresor, pero no todos ellos trabajan a la vez.

Por otro lado, los ventiladores trabajaran más horas ya que son los encargados de renovar el aire en el interior, y debemos procurar que los animales estén en un ambiente adecuado.

Y finalmente, el único equipo que estará en funcionamiento las 24 horas del día será el de automatización de la instalación, encargado del apagado y encendido de los equipos y el grupo de cogeneración.

9. Presupuesto y Rentabilidad

9.1 Presupuesto

A continuación, mostraremos un desglose del presupuesto:

Tubería para instalación común de gas (m)	Cantidad	Precio	Importe
Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de cobre estirado en frío sin soldadura, diámetro D=85/89 mm. (Ud)			
	1	1,05	1,05
Tubo de cobre estirado en frío sin soldadura, diámetro D=85/89 mm y 2 mm de espesor, según UNE-EN 1057, con el precio incrementado el 15% en concepto de accesorios y piezas especiales. (m)			
	1	24,07	24,07
Oficial 1ª instalador de gas. (h)			
	0,411	16,18	6,65
Ayudante instalador de gas. (h)			
	0,411	14,68	6,03
Medios Auxiliares (%)			
	2 %	37,6	0,76
Costes Indirectos (%)			
	3%	38,56	1,16
Costes de mantenimiento decenal en 10 años			
	-	-	3,57
Total Unidad	1		39,72
Total	69,87		2775,24

Depósito de gas licuados de petróleo. (Ud) Cantidad Precio Importe

Depósito homologado de gases licuados del petróleo (GLP), de superficie, de chapa de acero, "REPSOL", de 1200 mm de diámetro y 6250 mm de longitud, con una capacidad de 6650 litros. Tratamiento exterior: granallado SA 2 1/2, imprimación antioxidante y acabado con esmalte de poliuretano color blanco. Incluso capó abatible, boca de carga, indicador de nivel magnético, tubo buzo para toma de fase líquida, valvulería, manómetro, tapón de drenaje, accesorios de conexión, borne de toma de tierra y elementos de protección según normativa.

	1	4950	4950
Camión con grúa de hasta 6 t. (h)			
	0,504	49,34	24,87
Oficial 1ª instalador de gas. (h)			
	13,10	16,18	211,96
Ayudante instalador de gas. (h)			
	13,10	14,68	192,31
Medios Auxiliares (%)			
	2 %	5.379,14	107,58
Costes Indirectos (%)			
	3%	5.486,72	164,60
Costes de mantenimiento decenal en 10 años			
	-	-	1.299,80
Total Unidad	1		5.651,32
Total	1		5.651,32

**Fachada simple de panel de
chapa perfilada de acero. (m²)****Cantidad Precio Importe**Chapa perfilada nervada de acero S320 GD (según UNE-EN 10346) galvanizado de 0,6 mm espesor y 30 mm altura de cresta. (m²)

1,050 6,26 6,57

Remate lateral de acero galvanizado, espesor 0,6 mm, desarrollo 500 mm. (m²)

0,340 4,45 1,51

Tornillo autorroscante de 6,5x70 mm de acero inoxidable, con arandela. (Ud)

1,500 0,50 0,75

Junta de estanqueidad para chapas de acero. (m)

0,420 0,90 0,38

Tornillo autorroscante de 4,2x13 mm de acero inoxidable, con arandela (Ud)

0,340 4,45 1,51

Oficial 1ª instalador de gas. (h)

0,276 16,18 4,47

Ayudante instalador de gas. (h)

0,276 14,68 4,06

Medios Auxiliares (%)

2 % 17,84 0,36

Costes Indirectos (%)

3% 18,20 0,55

Costes de mantenimiento decenal en 10 años

- - 2,06

Total Unidad**1 18,75****Total****267,95 5.024,06**

Extractor CJMP/AL (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Ventiladores en aluminio con certificado de cumplimiento de la norma UNE-60-601-2006 y de acuerdo a las necesidades en salas de calderas de gas natural.			
	1	452,4	452,4
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		588,12
Total	10		5881,2

Impulsor en conducto NEOSILENT (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Impulsor			
	1	196,4	196,4
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		255,32
Total	10		2553,2

Ventilador helicoidal HCD (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Impulsor			
	1	97,3	97,3
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		126,4
Total	10		1264,9

Soplador CA/LINE (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Soplador			
	1	135,45	135,45
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		176,08
Total	10		352,17



Zeolita 13X (m³)	Cantidad	Precio	Importe
Zeolita para retención de CO ₂			
	1	1374	1374
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		1786,2
Total	0,006		11,22

Carbón Activado (m³)	Cantidad	Precio	Importe
Carbón activado para la retención de N ₂			
	1	1102	1102
Costes instalación (%)*			
	30%	-	-
Total Unidad	1		1432,6
Total	0,02		27

(*) Los costes de instalación se han supuesto, un 30% del precio total.

Sistema de Cogeneración (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Sistema de Cogeneración para la producción de electricidad, con una capacidad de producir 30 kW**. En el precio incluye ingeniería, conexión a la red, escape, conexión al sistema, construcción y unidad CHPt			
	1	1102	74000
Total Unidad	1		74000
Total	1		74000

(**) Presupuesto obtenido mediante easyCOGEN.xls

Sistema de Automatización (Ud)	Cantidad	Precio	Importe
Sistema de Automatización encargado del encendido y el apagado de los equipos. Compuesto por sensores, panel de control, reguladores...***			
	1	3000	3000
Total Unidad	1		3000
Total	1		3000

(***) El presupuesto del sistema de automatización se supuesto enteramente

Cuadro resumen del presupuesto:

Resumen	Euros	%
Cerramiento	5.024,06	4,98
Tubería.....	2.775,24	2,75
Extractores.....	5.881,2	5,83
Ventiladores.....	1.264,9	1,25
Impulsor.....	2.553,2	2,53
Soplador.....	352,17	0,35
Compresor	389,94	0,39
Deposito.....	5.652,32	5,60
Sistema Cogeneración	74.000	73,32
Zeolita 13X.....	11,22	0,01
Carbón de Activado (CMS)	27	0,03
Sistema de Automatización.....	3.000	2,97
Total Ejecución Material	100.931,25	
<i>13% Gastos generales.....</i>	<i>13121,06</i>	
<i>3% Beneficio industrial.....</i>	<i>3027,94</i>	
<i>21% IVA</i>	<i>21195,56</i>	
Total Presupuesto Contrata	138.275,81	

9.2 Rentabilidad

Para calcular lo rentable que es esta instalación utilizaremos la herramienta que Excel ofrece, para calcular el VAN y TIR

Flujo de ingresos		Flujo de egresos		Flujo efectivo Neto	
A		B		A-B	
año	Valor	año	Valor	año	Valor
1	63.209 €	1	4.200,00 €	1	59.009,00 €
2	126.418 €	2	8.400,00 €	2	118.018,00 €
3	189.627 €	3	12.600,00 €	3	177.027,00 €
4	252.836 €	4	16.800,00 €	4	236.036,00 €
5	316.045 €	5	21.000,00 €	5	295.045,00 €

VAN: 490.322,77 €

TIR: 80%

10. Conclusiones

Como se puede observar en los cálculos realizados, el potencial de esta fuente de metano, aunque jocosa, es enorme. Por ello, el mejorar este sistema o inventar otro, podría generar una gran revolución energética.

Por otro lado, al suponer los costos del sistema de automatización y cogeneración, podremos cometer cierto error en el presupuesto. Aun así, los beneficios son suficientemente altos para el caso de que los precios de dichos sistemas sean mayores.

Como se puede observar en la figura 14 y 15, no hemos considerado ningún gasto ni producción térmica, ya que las explotaciones vacunas ya aprovechar el calor residual de la leche obtenida del ordeño, para calentar el agua de saneamiento necesario. Aun así, hemos elegido un sistema de cogeneración, con la idea de que podamos producir energía térmica, para venderla a una o varias viviendas de la zona, según la cercanía a la vaquería. Esto influiría en nuestros resultados de manera positiva, obteniendo mayores beneficios.

A la vista de los resultados del VAN y el TIR, podemos observar como una inversión en este tipo de proyectos es bastante viable. Aunque la inversión inicial sea de cientos de miles de euros, el beneficio obtenido es altísimo. Esto nos favorece, ya que, para un estudio de viabilidad particular de una explotación de ganado vacuno, si a la hora de realizar las mediciones para saber la cantidad real de metano que expulsan las vacas es menor que la que nosotros hemos supuesto (500 litros al día por vaca), la rentabilidad puede que disminuya significativamente.

Además, con la potencia obtenida, la vaquería podrá autoabastecerse e incluso generar excedentes para introducirlos en la red eléctrica del estado, exceptuando el mes en el que el sistema de cogeneración sea detenido para su mantenimiento y limpieza.

En definitiva, podemos afirmar que un estudio más detallado de este proceso, midiendo adecuadamente los niveles de metano, la inversión en cogeneración y automatización, etc... puede llegar a ser una fuente segura y viable de energía.

11. Introducción en el Mercado

Para poder ahorrarnos costes en la instalación, una idea sería montar dicha instalación, donde los establos de las vacas ya estén cerrados. Encontrar este tipo de vaquerías no es difícil, ya que, en los países, donde en invierno las temperaturas son extremadamente bajas, suelen acondicionar sus establos para mantener en ellos una temperatura adecuada para el cuidado de los animales. De esta forma podríamos aprovechar el cerramiento realizado en estos establos, y ahorrarnos los costes.

Por otro lado, este tipo de instalación sería más rentable haciendo que el número de cabezas en el establo sea lo mayor posible, por ello sería conveniente estudiar las zonas donde el número de rumiantes por establo sea máximo.

A nivel nacional, las zonas de mayor producción de ganado bovino, están al norte de España como podemos observar en la siguiente figura:

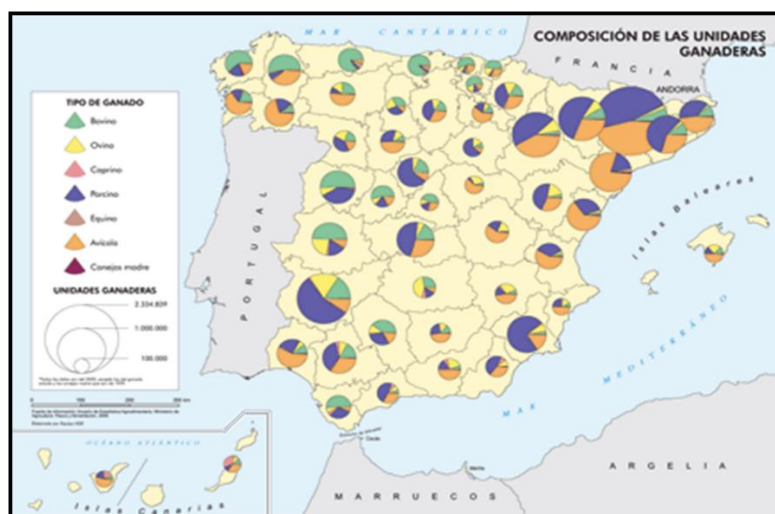


Figura 16: Distribución de la ganadería en España

Teniendo en cuenta esta información, es lógico que podamos encontrar mayores facilidades a la hora de buscar tanto ayudas económicas como posibles inversores, ya que son zonas donde la ganadería tiene una fuerte repercusión financiera.

12. Aplicaciones Futuras

Gracias a esta innovación en el campo de la energía, aquellos países en los que la ganadería sea un sector destacable dentro de su economía, podrán conseguir una ganadería más sostenible, tanto desde el punto de vista de la sostenibilidad energético, como desde el punto de vista medioambiental, ya que esta tecnología conlleva una reducción de las emisiones de metano, las cuales tienen un alto potencial de efecto invernadero. En países como Sudamérica o Nueva Zelanda, cuyo sector ganadero tiene una gran repercusión en la economía del país, esta innovación podría ser muy significativa.

Por otra parte, la instalación podría utilizarse para obtener energía de otro tipo de animales, sabiendo que, para que este nuevo proyecto sea rentable, deberá realizarse un estudio particular dependiendo de la especie y teniendo en cuenta la cantidad de metano expulsado.

De la misma forma, esta tecnología puede ofrecer una alternativa innovadora al aprovechamiento del metano de otras fuentes que hasta hoy no serían rentables como, por ejemplo, reciclar el metano almacenado en las alcantarillas de las ciudades. Si realizáramos una recirculación de los gases acumulados en ellas hacia unos filtros similares a los utilizados en nuestra instalación, es posible que pudiésemos obtener energía de igual modo, y satisfacer las dos necesidades que hemos mencionado en este estudio.

13. Agradecimientos

Primero agradecer, a la tutora de este trabajo fin de grado y mi profesora D^a Eloísa Torres Jiménez, quien tuvo la valentía de realizar el seguimiento y asesoramiento de este estudio de viabilidad, sabiendo que trataba sobre un tema poco estudiado y de una idea innovadora, con todos los problemas que ello conlleva.

Por otro lado, agradecer el asesoramiento de D^a. M^a Dolores la Rubia, quien me indicó el camino que debía seguir para investigar para la purificar el metano.

Y, por último, agradecer a los profesores D. Rubén Dorado Vicente y D. Fernando A. Cruz Peragón, por ayudarme en ciertos aspectos de este estudio.

14. Referencias

- Ambiente, ministerio de medio. (2010). *El sector del biogás agroindustrial en España. Dirección general de recursos agrícolas y ganaderos.*
- Bartolomé, D. J., Posado, R., García, J. J., Bodas, R., Fonseca, B., Tabernero, M. J., & Río, G. (2011). *Ahorro y eficiencia energética en explotaciones de vacuno lechero.*
- Betzabet, M. (2014). *Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias. Instituto de Desarrollo tecnológico para la Industria Química.*
- Cavenati, S., Grande, C. A., & Rodrigues, A. E. (2006). Separation of CH₄/CO₂/N₂ mixtures by layered pressure swing adsorption for upgrade of natural gas. *Chemical Engineering Journal*, 118(3), 3893–3906. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.01.023>
- Elena, L., & Varón, S. (2011). Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina Diets in methane emissions during rumination process in cattle production systems. *Revista de Investigación Agraria Y Ambiental*, 2(1), 55–64.
- Fundación Asturiana de la Energía. (2007). ¡Ahorrar energía está en tu mano!
- Isabel, B., & Díaz, T. (2008). *Energía y residuos ganaderos : el biogás.*
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- M., C.-L., García-Rebollar, P., Estelles, F., & Torres, A. (2008). ESPAÑA : EL FACTOR DE CONVERSIÓN DE METANO ESTIMATION OF EMISSIONS FROM RUMINANTS IN SPAIN : THE METHANE Cambio Climático (Intergovernmental Panel. *Arch. Zootec*, 57, 89–101.
- Solís, J. R., Francisco, P., Martínez, P., Orozco, I., José, Á., Montaña, F., ... Rosales, H. (2006). *Universidad de Guadalajara.*
- Vargas, J., E. Cárdenas, M. Pabón, J. C. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Arch. Zootec*, 61, 51–66.
- Varnero, M. T., Carú, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. *Informacion Tecnológica*, 23(2), 31–40. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200005>



Velasco, F. R. (2009). Estudio De Viabilidad Y Diseño De Una Planta De Cogeneración Para Una Industria Cárnica, 1–149.