



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

CAMPUS DE GANDIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA



Propuesta de mejora de la eficiencia y producción energética en la ganadería S.A.T. Niveiro

Trabajo final de Grado

Tutor: Torregrosa Cabanilles, Constantino

Autor: Balboa Martorell, Iago

Gandía, 2016

Resumen

El consumo energético es una de las variables cada día más importante para realizar todo tipo de actividades en nuestra sociedad. El suministro de combustibles fósiles disminuirá en gran medida en las próximas décadas, y su combustión es la principal causa del cambio climático y de la polución atmosférica en las ciudades, además de estar interrelacionado con la economía y el desarrollo. En la actualidad, nuestros hábitos de consumo de carne y leche y su producción de manera insostenible en el sector ganadero son importantes agentes en el consumo de recursos y la producción de contaminación. En este trabajo se proponen cambios en las instalaciones de una granja para conseguir una mejora de la eficiencia para reducir el consumo energético, una gestión de los residuos de forma óptima mediante su valorización, además de la implantación de otras posibles fuentes de energía renovables, solar y eólica. La eficiencia se puede mejorar con la sustitución de la iluminación por tubos leds, reduciendo su consumo a la mitad. La valorización de los residuos abastecería por completo las necesidades eléctricas de la ganadería con sólo un tercio de la producción de la planta. En cambio, para un sistema híbrido eólico-solar la inversión sería parecida pero solo cubriría el consumo de la ganadería, mientras que con la planta de biogás se reducirían emisiones de GEI, se podrían vender los excedentes de la producción eléctrica o el biogás para otros usos, todo ello a partir de un residuo que actualmente solo se deja madurar para después utilizar en la agricultura.

Palabras clave

Eficiencia energética, potencial de producción de energía, biogás, ganadería, energía renovable.

Abstrat

Energy consumption is one of the variables that is increasingly important for to carry out all kinds of activities in our society. The provision of fossil fuels will decline greatly in the coming decades, and their combustion is the main cause of climate change and pollution atmospheric in the cities, besides being interrelated with the economy and the development. At present, our consumption habits of meat and milk and their unsustainable production in the livestock sector are important agents in the consumption of resources and the production of contamination. This work proposes changes in the facilities of a farm to achieve an improvement of efficiency to reduce energy consumption, optimal waste management through its valorization, in addition to the implantation of other possible renewable energy sources, solar and wind. Efficiency can be improved by replacing lighting with LED tubes, reducing their consumption by half. The valorization of the waste would completely satisfy the electrical needs of livestock with only a third of the production of the plant. In contrast, for a hybrid wind-solar system the investment would be similar but would only cover the consumption of livestock, while the biogas plant would reduce GHG emissions, could sell the surplus of electricity production or biogas for others uses, all from a residue that is only allowed to mature and then used in agriculture.

Keywords

Energy efficiency, energy production potential, biogas, livestock, renewable energy.

Contenido

Bloque 1: Introducción	5
1.1 Energía y crecimiento económico.	5
1.2 Importancia del autoconsumo y valorización energética.	7
1.3 Marco legislativo.	10
1.4 Objetivos.	11
Bloque 2: Caso de estudio: consumo energético y residuos ganaderos	12
2.1 Localización.	12
2.2 Consumo energético y gasto económico.	14
Bloque 3: Medidas de ahorro y eficiencia energética	18
3.1 Mejoras de aparatos eléctricos.	19
Bloque 4: Valorización energética de los residuos ganaderos	21
4.1 Conceptos previos.	21
4.2 Producción de biogas.	21
4.3 Codigestión.....	22
4.4 Residuos ganaderos en S.A.T. Niveiro	23
Bloque 5: Otras fuentes renovables de energía	28
5.1 Energía solar.....	28
5.1.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos.	28
5.1.2 Caso de estudio.	29
5.2 Energía eólica.	32
5.2.1 Estudio del potencial eólico.	32
5.2.1 Estudio viabilidad económica.....	38
Bloque 6: Propuestas y conclusiones	40
6.1 Posibles medidas.....	40
6.3. Conclusiones.....	41
Referencias bibliográficas	42

Bloque 1: Introducción

1.1 Energía y crecimiento económico.

La energía tiene un papel muy importante en el progreso tecnológico, económico y social en la actualidad. Gracias al aumento de la disponibilidad energía en el pasado y a la mejora en las tecnologías para su empleo, se consiguió un desarrollo material importante en las sociedades más evolucionadas, en las que se encuentra una estrecha relación entre desarrollo y consumo energético [1].

La energía es esencial para superar muchos de los desafíos u obstáculos que nos encontramos cada día, ya sea para obtención de recursos, transporte, alimentación, investigación y un gran número de actividades.

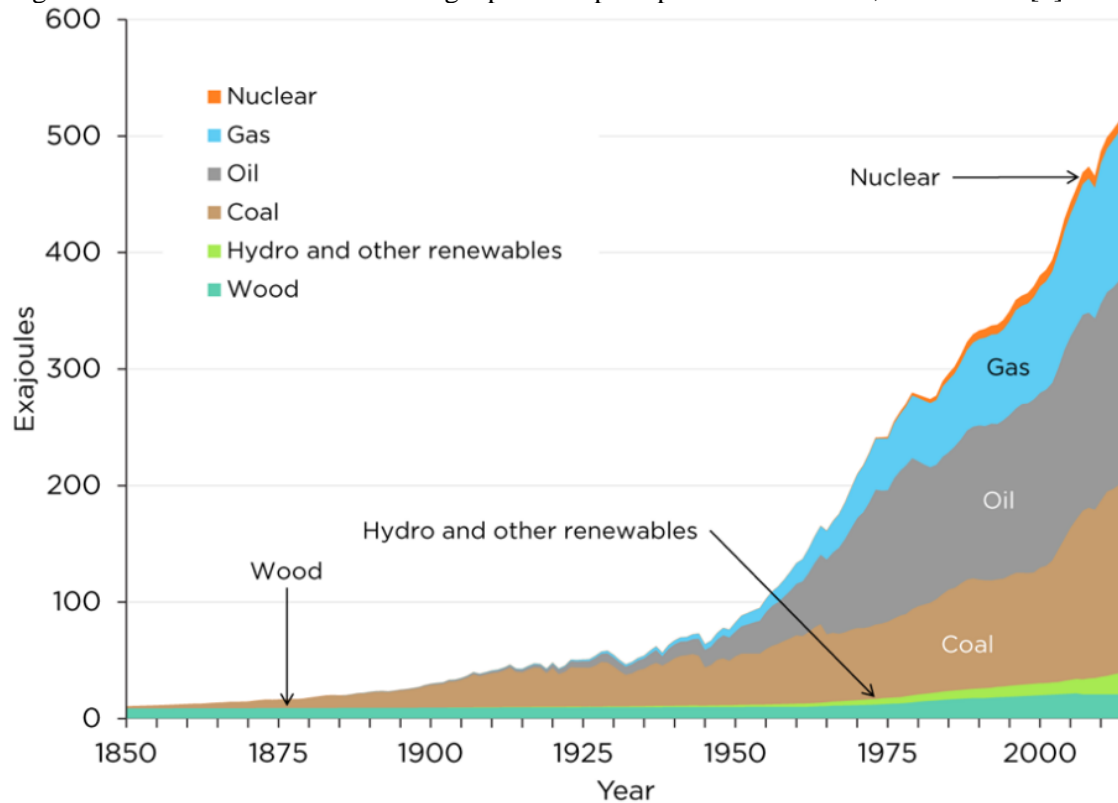
El aumento de consumo de energía está relacionado con la población y la economía. La población mundial crece exponencialmente, al igual que el consumo mundial de energía. La economía también se interrelaciona con la energía y esta relación se mide mediante la intensidad del consumo energético, que es obtenido por el cociente de consumo total de energía (primaria o final) y el PIB. En este parámetro participan muchas incidencias que pueden alterar su comportamiento a corto plazo, pero la reducción de la intensidad del consumo energético es una prioridad. [1]

En *Naciones Unidas* crearon 17 objetivos para el desarrollo sostenible. El *objetivo número 7 es: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos*, y se refiere a la energía y las metas de futuro para el año 2030. Cabe destacar algunos datos llamativos en relación a este objetivo: una de cada cinco personas aún no tiene acceso a la electricidad moderna; tres mil millones de personas siguen utilizando biomasa forestal para el uso doméstico, cocinar y calefacción.

Por último, la optimización y mejora de la eficiencia energética en todos los sectores es una necesidad frente al cambio climático. La energía es el principal contribuyente en el cambio climático, representando alrededor del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero [2].

Como se puede observar en la Figura 1.1 el consumo global de energía no ha parado de aumentar, en 1975 era alrededor de 250 exajulios y 39 años después pasa los 500 exajulios. Es muy significativo que el carbón, petróleo y gas representan más del 80 %, siendo la quema de combustibles fósiles la principal fuente para la obtención de energía eléctrica con los daños asociados al medio ambiente. [3]

Figura 1.1 Consumo mundial de energía primaria por tipo de combustible, 1850-2014. [3]



En el último siglo, el consumo mundial de energía se ha multiplicado por 25, siendo el consumo per cápita en los países más desarrollados unas 10 veces superior que en los países en desarrollo y con una tendencia al alza. Cuando los países alcanzan un nivel de industrialización alto se produce también un mayor consumo de recursos energéticos. Por ejemplo, según el *Global Transport and Energy Development*, en los próximos 20 años el uso energético para el transporte aumentará en más de un 55%. [3]

La energía podemos clasificarla en energía primaria, secundaria o final y útil. La energía primaria se obtiene directamente de la naturaleza, como puede ser el carbón, gas natural, petróleo o las energías renovables. La energía secundaria o final se obtiene de la transformación de las energías primarias, como la gasolina o la electricidad. La energía útil es la que consumen los propios usuarios demandada por sus equipos, la energía gastada por un motor o la consumida por una bombilla. [4]

1.2 Importancia del autoconsumo y valorización energética.

El autoconsumo es opción muy normalizada en los países del norte como Alemania aunque en nuestro país por razones de inestabilidad del marco legal de los últimos años nos encontramos en un retroceso.

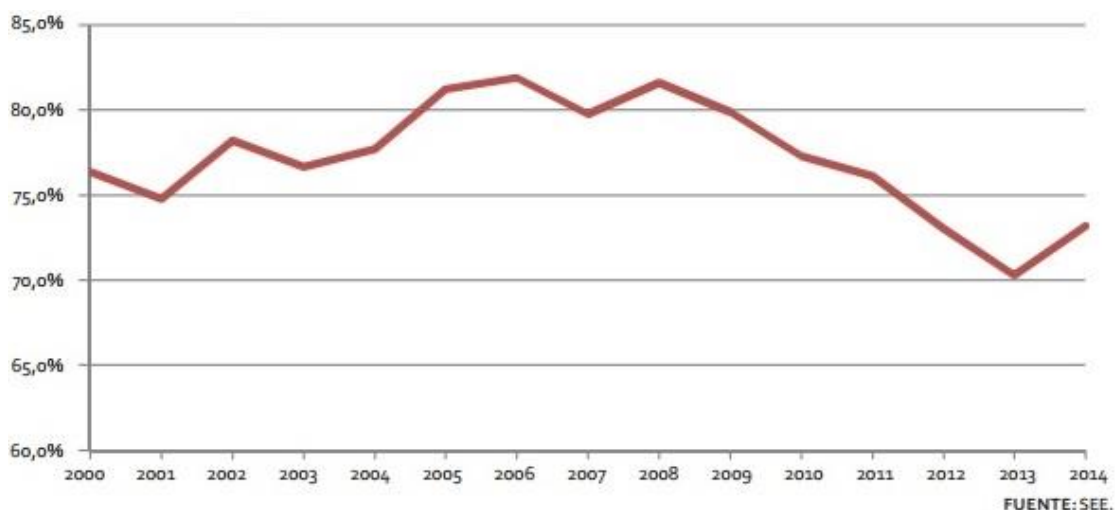
El autoconsumo o autoproducción consiste en disponer de instalaciones generadoras de electricidad para el consumo propio y en caso de no necesitarla en algún momento del día, almacenarla o verterla a la red eléctrica, según este aislada o conectada a la red eléctrica.

Las instalaciones más comunes son las fotovoltaicas y termosolares, las cuales aprovechan la energía del sol para proporcionar energía eléctrica y calor respectivamente. También a día de hoy hay instalaciones mini-eólicas o mini-hidráulicas. Las instalaciones mini-eólicas, son una buena opción para pequeñas empresas o casas familiares, gracias a los avances en las últimas décadas.

Frecuentemente se estudia la posibilidad de hacer instalaciones híbridas con más de una de estas tecnologías; ya que, en muchos casos, la implantación de una sola no satisface las necesidades de energía que queremos y distintos tipos de generación se pueden complementar.

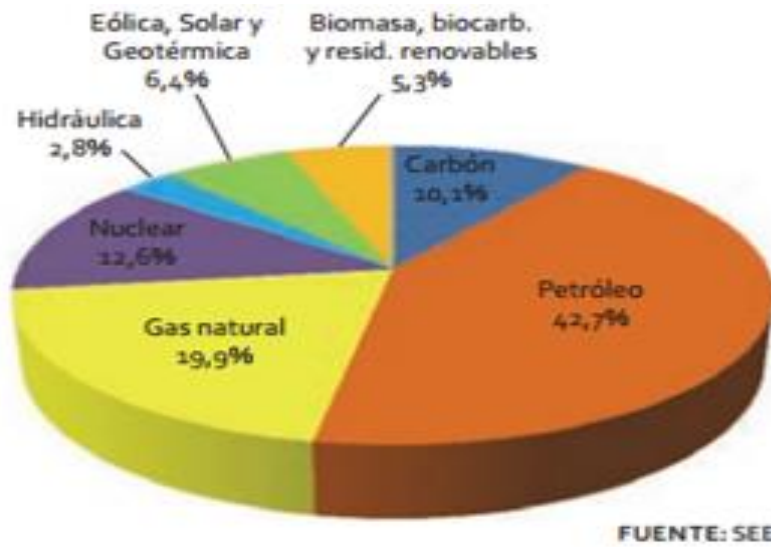
Si consideramos a la energía como el combustible de la economía, su producción para el autoconsumo es un punto muy importante, siempre y cuando sea rentable su implantación. A nivel nacional, España tiene un nivel de dependencia energética muy alto, en el año 2014. Este nivel ha disminuido desde el inicio de la crisis (ver Fig. 1.2), pero es un 2,9% superior al del año 2013. [5]

Figura 1.2. Evolución de la dependencia energética (metodología eurostat). [5]



La gran dependencia energética hace que España tenga que importar combustibles fósiles, petróleo y gas principalmente. Solamente alrededor del 30% del consumo de energía primaria es de origen nacional (Fig. 1.3).

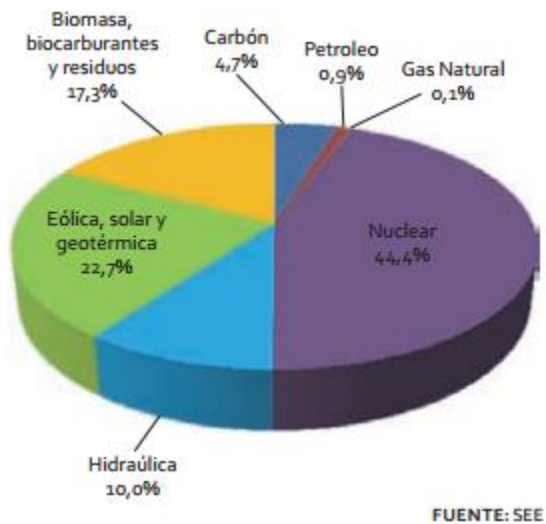
Figura 1.3. Consumo energía primaria España 2014 (sin incluir saldo eléctrico). [5]



Como se ve en la Figura 1.3 el 72% de la energía primaria consumida en España es de combustibles fósiles. Esta falta de independencia energética debido al uso de combustibles fósiles no sólo hace que dependamos del exterior para satisfacer nuestras necesidades, sino que además se incrementan mucho las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO₂ o metano entre otros, agravando el deterioro del medio ambiente y al cambio climático, ya que, la quema de combustibles fósiles es la forma más implantada.

La producción interior de energía primaria en España se muestra en la Fig. 1.4, donde se observa que aproximadamente la mitad es de origen renovable.

Figura 1.4. Producción interior de energía primaria en España 2014. [5]



Actualmente existen restricciones para la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) según el *protocolo de Kioto*. También la Unión Europea aprobó un paquete de medidas sobre el clima y energía hasta el 2020, con tres objetivos fundamentales [6]:

- Reducción 20% GEI (niveles 1990).
- 20% energías renovables en la UE.
- 20% de mejora de la eficiencia.

Este paquete de medidas a 2016 no parece que se vaya a lograr en los próximos 4 años, el mercado de los GEI no parece que diera el resultado deseado y la emisión de GEI sigue en aumento, además los problemas de inestabilidad o crisis económica no ayuda a reducir dichos gases, pasando el medio ambiente a un segundo plano.

A nivel de empresa o usuario, la producción interna o autoproducción también es una opción muy satisfactoria, además de reducir la factura energética y ser más competitivos en nuestro sector, su carácter de energía renovable se puede mostrar como una ventaja en el mercado.

Además de los sistemas comunes de autoproducción energética en empresas, como la generación fotovoltaica, en el sector ganadero que genera residuos, se puede contar con la valorización energética de los mismos.

Por otra parte, en la gestión de residuos, todas las directrices indican que el vertido debe ser la última opción, cuando las demás, por un motivo u otro, no han sido posibles. [4]

Si los residuos ganaderos se dejan madurar para después aplicar a la tierra, se está emitiendo GEI como el metano, el cual tiene más poder de efecto invernadero.

Gracias a una correcta gestión, valorización de residuos y producción energética podemos crear y gestionar todo tipo de edificios. De ahí la importancia de fomentar este tipo de prácticas como la reducción del consumo energético y autoproducción de energía mediante la mejora de la eficiencia de las tecnologías y fomento las energías renovables y así no tener que utilizar combustibles fósiles y no contaminar el medio ambiente.

Como veremos a lo largo del trabajo, si aplicamos estas tecnologías que están en nuestro alcance no solo reduciremos nuestra factura eléctrica, si no, que también estaremos ayudando al medio ambiente reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), causantes del deterioro del planeta, a la vez que se hace un poco más sostenible la industria ganadera.

1.3 Marco legislativo.

La tecnología existente actualmente permite el planteamiento de industrias con edificios de consumo de energía casi nulo. La Directiva 2010/31/UE define como edificio de consumo energético casi nulo a los edificios con un nivel alto de eficiencia energética, que se determina conforme al Anexo I. La energía casi nula o muy baja deberá estar cubierta, mayoritariamente, por energía procedente de fuentes de energía renovables, producidas in situ o en su entorno. [4]

Pero en España en los últimos años se ha producido un retroceso en el desarrollo de las energías renovables, tanto es así que a los pequeños productores de energía para su propio abastecimiento o empresas que quieren reducir su gasto energético gracias a la implantación de energías renovables no les es conveniente. La legislación española actual hace que los proyectos tengan largos periodos de amortización muy próximos a la vida útil del producto, o incluso superarla, imponiendo tasas a las baterías, energía solar y eliminando las primas a las energías renovables.

La legislación más relevante en referencia al biogás, energías renovables y autoconsumo se exponen a continuación.

Planta de biogás:

Real Decreto 946/2009 por el que se pone de manifiesto concesiones de subvenciones para fomentar la inversión en instalaciones para la biodigestión de purines animales.

Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de energías renovables, cogeneración y residuos. El objeto de este Real Decreto 413/2014 es la regulación del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. En cuanto al ámbito de aplicación ha de tenerse en cuenta que la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, ha eliminado los conceptos diferenciados de régimen ordinario y especial y lo sustituye por dos partes, una para compensar los costes de la inversión y la otra para los costes operacionales.

Uso del digestato:

Real Decreto 261/1996 sobre protección de las aguas frente a la contaminación causada por nitratos de origen agrícola. En este Real Decreto se regula, la cantidad de nitrógeno procedente de fuentes agrícolas, como el uso del digestato.

Real Decreto 506/2013 sobre fertilizantes. Clasifica los fertilizantes según su origen, establece la cantidad mínima de nutrientes y de materiales orgánicos para que se consideren fertilizantes o mejoradores del suelo. Normalmente el digestato contiene una cantidad mucho mayor por lo que se ve necesario un tratamiento posterior en el caso de que sea para la venta. No obstante, el

reglamento permite la utilización a granel del digestato sin que sea considerado fertilizante o mejorador del suelo.

Autoconsumo:

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

1.4 Objetivos.

Los objetivos de este trabajo son dos:

- Por un lado evaluar el consumo energético en una instalación de ganadería y de los principales aparatos eléctricos para una posible mejora de la eficiencia y la distribución del consumo, y así poder gestionar el consumo en las horas en las cuales el precio de la electricidad es menor.
- Realizar una estimación de la posible producción eléctrica en la instalación ganadera a partir de los residuos producidos por la actividad ganadera, además de la energía solar y eólica.

Bloque 2: Caso de estudio: consumo energético y residuos ganaderos

2.1 Localización.

La granja de ganado vacuno objeto de este trabajo está situada en el Concello de Val do Dubra, en la parroquia de San Vicente de Niveiro, provincia de A Coruña. Está situada a una altitud de 350 metros sobre el nivel del mar y cuyas coordenadas geográficas son (Figura 2.1):

- Latitud: 43° 1' 57"Norte

- Longitud: 8°37'37"Oeste

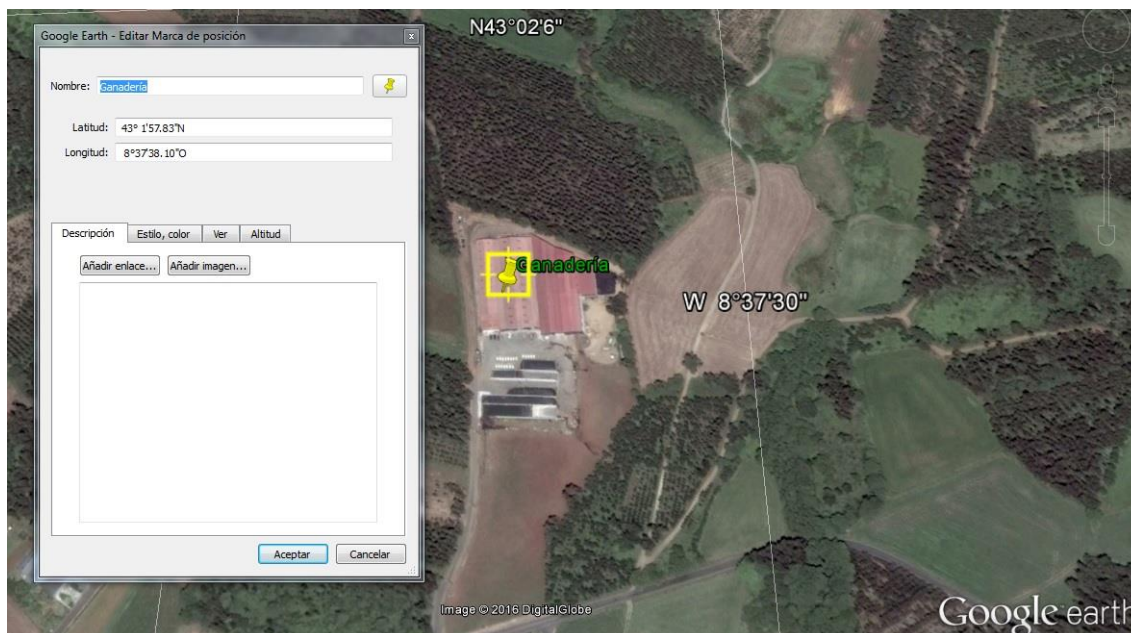


Figura 2.1 Localización geográfica ganadería (Fuente: google earth).

Para la alimentación del ganado gestionan 96 hectáreas distribuidas de la siguiente forma [8]:

- 24 ha de pradera permanente de Lolium perenne, nombre común raigas perenne. Cortan en marzo, abril, mayo, junio y hacia octubre un corte de limpieza.
- 72 ha de maíz forrajero, donde 55 ha rotan con Lolium hybridum, ray-grass híbrido y lo cortan dos veces antes de la siembra del maíz.

En la Figura 2.2 tenemos la configuración actual de la ganadería. La parte de ordeño, oficina y tanque de almacenamiento de la leche corresponde a la superficie de la granja (3247,50 m²). Adyacente a esta zona nos encontramos por orden, establo, cubierta silo y el establo de parto, parto y postparto. Finalmente esta la fosa séptica con una superficie total de 720m² y profundidad de 3,8 metros. Los 2736 m³ de almacenamiento de la fosa séptica tardan en llenarse 90-100 días. Enfrente a las naves ganaderas están los silos donde se almacena la comida.

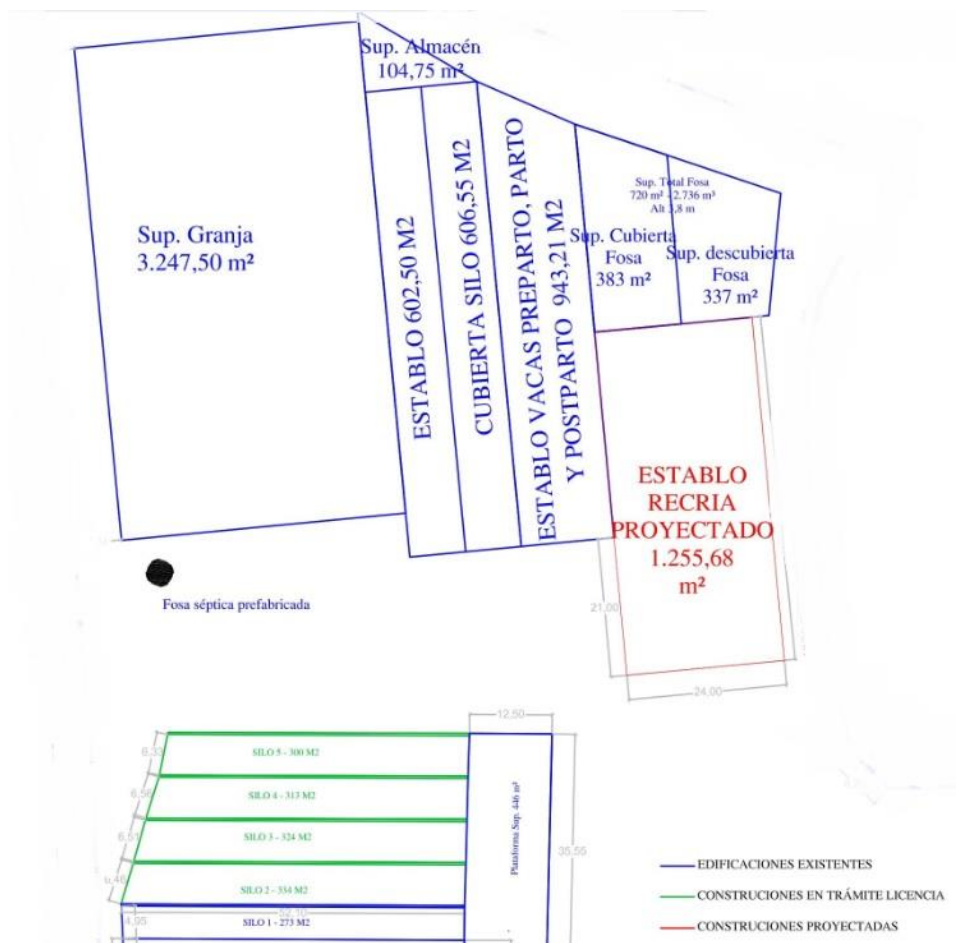


Figura 2.2. Plano ganadería. Fuente: S.A.T. Niveiro

En el 2011 S.A.T. Niveiro invirtieron capital en la compra de novillas con genética de alta calidad, se hicieron con algunos de los últimos ejemplares de la Unidad de Transferencia Embrionaria de Bos (U.T.U. Bos) en una subasta pública.

La U.T.U. Bos fue creada en base al Convenio de colaboración firmado en 1992 y que duro 18 años entre la Consellería de Agricultura, Ganadería e Montes junto con la Federación FRISONA Galega (FEFRIGA). El objetivo común fue elevar el nivel genético de la Cabaña Frisona Galega, haciéndola más competitiva y rentable, y al mismo tiempo, reducir la absoluta dependencia de la genética foránea hasta ese momento. [9]

Gracias a esta inversión mejoraron su rebaño genéticamente, aumentaron la producción de leche y en el 2015 vendieron entre 20 y 30 novillas con las que se ingresó unos 46500 euros (Glez, 2015). [8]

Frente a los problemas del sector lácteo en Galicia, SAT Niveiro apuesta por otra vía de ingresos, por eso en la Figura 2.2 vemos la zona roja que es la proyección de un establo de recría con miras a un aumento en la venta de novillas.

2.2 Consumo energético y gasto económico.

La ganadería de Niveiro utiliza energía en forma de gasoil para los diversos tractores, según uno de los socios aproximadamente 1000 L/mes de media. También se utiliza energía eléctrica principalmente para el uso del sistema de ordeño, tanque de refrigeración de leche, motores de bomba de vacío, climatización e iluminación, que son los propios de la ganadería lechera. [10]

Para la climatización, en la granja se dispone de 9 ventiladores que funcionan cada uno con un motor de 1 Hp. La ventilación solo se utiliza en los meses de verano (junio, julio, agosto) y no está automatizada, habitualmente funciona de 10:00 AM a 19:00 PM, aunque las horas pueden variar un poco si el calor se inicia antes, provocando mal olor. (Figura 2.3)

La iluminación de todas las naves se realiza con 64 cajas de tubos fluorescentes, 32 de 1 barra de 36 w y 32 de 2 barras de 36 w. Está encendida por completo de 6 AM a 9 AM y de 6 PM a 9 PM, un total de 6 horas todas las luces encendidas. Después por la noche quedan encendidos 10 barras fluorescentes toda la noche de 9 PM a 6 AM, un total de 9 horas. Los horarios pueden variar un poco según la época del año, disminuyendo en verano, ya que, hay más horas de luz.

A continuación, en la Tabla 2.1 se muestran los consumos de los aparatos eléctricos que se pudieron obtener y principales aparatos eléctricos de la ganadería. El termo eléctrico 1 de 400 litros no se tiene en cuenta, ya que su calentamiento es mediante un sistema la recuperación de calor, genera agua templada mientras se enfría la leche y no supone un gasto.



Figura 2.3. Flechas rojas iluminación, flecha negra ventilador. Fuente: elaboración propia

Tabla 2.1. Principales equipos de consumo en la ganadería y estimación de consumo anual.

Fuente: elaboración propia.

Equipo	Nº equipos	Potencia (W)	Horas día	Días	Meses	Consumo anual kWh
Ventilador	9	745,7	8	30	3	4832
Fluorescente 1	32	36	-	30	12	-
Fluorescente 2	32	72	-	30	12	-
Termo eléctrico 1	1	-	-	-	-	-
Termo eléctrico 2	1	3000	10	30	12	10800
Bomba vacío	2	11600	5	30	12	41760
Lechería	1	-	-	30	12	-

En la figura 2.4 está representado el consumo eléctrico y el gasto económico desde el 19/09/2015 al 18/07/2016, un total de 272 días. Dado que las facturas no son todas del mismo número de días, para un mejor análisis se han ponderado todos los consumos y gastos a 30 días. En la Tabla 2.2 se representaron los consumos ponderados, que están distribuidos en P1, P2 y P3, cada uno con un horario y una tarifa diferente.

Tabla 2.2. Consumo facturado en kWh en la ganadería. Fuente Elaboración propia.

	Consumo P 1	Consumo P 2	Consumo P 3	Consumo total	Precio total €	Días
Octubre	589	4645	2842	8076	1326	30
Noviembre	2454	2643	2775	7871	1381	30
Diciembre	2443	2128	2495	7066	1331	30
Enero	2613	2413	2781	7806	1320	30
Febrero	2884	2497	3013	8394	1363	30
Marzo	2837	2574	3289	8700	1441	30
Abril	450	3632	2426	6507	1068	30
Mayo	621	4919	3047	8588	1337	30
Junio	897	4790	2584	8271	1409	30
Total	15787	30241	25250	71279	11978	270

Los horarios de cada período son los representados en la Tabla 2.3, no son los propios de la compañía contratada, los cuales no se consiguieron y se asumió que son los mismos que en Som energía.

Tabla 2.3. Distribución horarios tarifa 3.0A contratada. Fuente: Som energía. [11]

	Invierno	Verano
P1	18-22 h.	11-15 h.
P2	8-18 h./22-24 h	8-11 h./15-24 h.
P3	0-8 h.	0-8 h.

Conociendo en qué período el consumo es mayor y analizando si coincide con el período en el que la electricidad es más cara, podemos aplicar medidas para disminuir el consumo en dichos horarios y así disminuir el precio de la factura eléctrica.

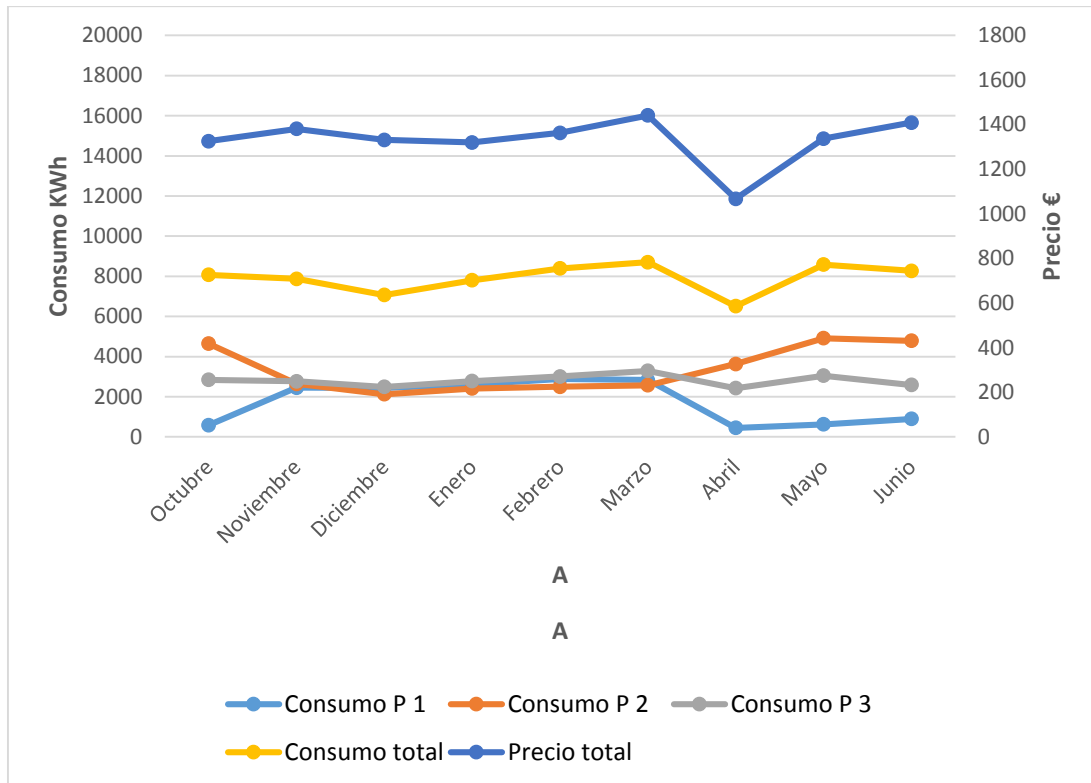


Figura 2.4. Consumo eléctrico y gasto económico en la ganadería. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Figura 2.4 y Tabla 2.2 a lo largo del periodo de octubre a junio, el mayor consumo corresponde a P2, el segundo ordeño del día, con la utilización de todo el sistema que ello implica, más la utilización de toda la iluminación de las naves, ya que coincide con el anochecer. Hay que tener en cuenta que en P1 hay cuatro valores que difieren bastante del resto, no se pudo saber a qué fueron debidos. El consumo total con los resultados ponderados a 30 días es de 71,28 MWh durante los 9 meses del periodo estudiado, casi 8 MWh al mes.

Bloque 3: Medidas de ahorro y eficiencia energética

Cuando nos referimos a medidas de ahorro estamos hablando de una serie de medidas las cuales van a repercutir positivamente, evitando un gasto o consumo mayor [10] de un recurso relacionado directamente con ~~en~~ el sector a tener en cuenta, sustituyendo o eliminando actividades superfluas.

La definición de eficiencia según la Real Academia Española (RAE) es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. [12] En nuestro caso, reducir el consumo energético invertido en una determinada actividad que ha de continuar realizándose.

Las medidas de ahorro y eficiencia permiten reducir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) además de conseguir que el sector ganadero lácteo sea más sostenible, mejorando la competitividad de la empresa frente a otras empresas nacionales o internacionales. Todo esto sin olvidar la mejora de la reputación al no estar dañando o minimizando el impacto sobre el medio ambiente.

Para la identificación de medidas de ahorro y eficiencia energética hay que realizar una auditoría energética. Este proceso consiste en un análisis exhaustivo del consumo energético en la ganadería, identificar y evaluar las distintas opciones de ahorro de energía en función de la rentabilidad de las distintas medidas propuestas. [13]

Las auditorías energéticas se basan en tres etapas fundamentales [13]:

- Prediagnóstico energético: Consiste en la toma de datos, para su posterior diagnóstico.
- Diagnóstico o asesoría energética: Se basan en los datos anteriormente recogidos para realizar balances de energía, detección de posibles mejoras, cálculo del ahorro económico y evaluación económica de la ejecución de las mejoras.
- Diagnóstico de seguimiento: Es el seguimiento de las mejoras realizadas para así confirmar su rentabilidad.

Una vez presentados los datos energéticos en el apartado anterior, podemos identificar 3 tipos principales de medidas de ahorro para su evaluación en la ganadería:

- Sustitución de aparatos eléctricos por otros más eficientes.
- Valorización de los residuos ganaderos.
- Otras energías renovables (solar y eólica).

En este bloque analizaremos la eficiencia de los aparatos eléctricos, dejando las otras dos medidas de ahorro (valorización residuos y otras energías renovables) para los bloques 4 y 5.

3.1 Mejoras de aparatos eléctricos.

Las mejoras de eficiencia de los aparatos eléctricos específicos de la lechería son: sistemas de ordeño, motores de bomba de vacío, la lechería, recuperadores de calor, ventilación e iluminación. [10]

El sistema de ordeño y la lechería están automatizados. La lechería es el tanque de almacenamiento en frío y agitación de la leche ordeñada. La agitación está funcionando las 24 horas del día y el mantenimiento de la temperatura fría está regulado por termostato como en una nevera convencional. Todo el sistema de ordeño, en el que van incluidas las bombas de vacío, lechería y recuperador de calor, está automatizado y son equipos caros. No se plantea su sustitución por otros hasta que fallen. El ahorro no sería tan significativo como para que resulte rentable a medio plazo su sustitución, solo se plantearía en caso de fallo de los mismos, ya que no son equipos anticuados.

Con la ventilación pasa lo mismo que en el caso anterior, la opción más factible es la mejora de la iluminación. Los tubos fluorescentes están actualmente obsoletos, su sustitución por leds produce un ahorro de entre el 50-65% del consumo y mantenimiento de los tubos fluorescentes.

A partir de las horas de funcionamiento y la potencia de iluminación instalada en la ganadería se obtuvo la siguiente tabla con el consumo diario por la iluminación, con consumos de 36 y 72 w.

Tabla 3.1. Consumo KWh iluminación (Real). Fuente elaboración propia.

	Horas	Consumo/día (Wh)	Consumo/mes (KWh)
64 Cajas	6	13632	423
10 Cajas	9	4140	128
Total		17772	551

Cálculo realizado con 10 cajas con 2 bombillas de 18 w cada una.

Para el cálculo del consumo/día de la Tabla 3.1 se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Consumo} = \text{potencia} * n^{\circ}\text{equipos} * \text{horas} * \text{días}$$

El consumo diario de KWh en iluminación de la Tabla 3.1 se podría reducir entre el 50-65% [14]

Tabla 3.2. Equivalencia consumos fluorescente y led. [14]

Tubo Fluorescente	Tubo Led
18W,real 25 W	7-10 W
36 W,real >46 W	13-18 W
52 W,real >67 W	18-23 W

En la tabla 3.2 se muestra la equivalencia de potencia entre el led y el tubo fluorescente. En las lámparas de tubos, además del consumo del propio tubo, existe consumo por parte del sistema asociado de cebador y balastro, con lo que el consumo real aumenta significativamente. El porcentaje del consumo en iluminación respecto al consumo total aumenta, como podemos ver en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Consumo en iluminación respecto del consumo total. Fuente: Elaboración propia.

	Consumo kWh	% iluminación(real)	% iluminación(bombilla)
Enero	7805,8	7,1	5,4
Febrero	8394,3	6,6	5,0
Marzo	8700,0	6,3	4,8
Abril	6507,4	8,5	6,5
Mayo	8587,5	6,4	4,9
Junio	8271,4	6,7	5,1
Julio	sin datos	sin datos	sin datos
Agosto	sin datos	sin datos	sin datos
Septiembre	sin datos	sin datos	sin datos
Octubre	8075,6	6,8	5,2
Noviembre	7870,7	7,0	5,4
Diciembre	7066,0	7,8	6,0

Si sustituimos los tubos fluorescentes de 36 W por LED de 18 W de los mismos lúmenes, para así tener la misma luz, estaríamos reduciendo el consumo alrededor de un 60%, pasando a consumir mensualmente de los 550 kWh actuales a 217 kWh por mes.

El coste de una caja de 1 barra led de 18 W y 2 barras de 18 W, con las fijaciones y una longitud de 120 cm son 13 y 37 euros respectivamente. El cambio total de la iluminación costaría 1600 euros. [15]

Con la reducción en el consumo de la iluminación se rentabilizaría en pocos años, dado que el contrato eléctrico y la discriminación horario hacen que el precio del kWh varíe, es difícil estimar la tasa de retorno de la inversión pero podemos asumir que será en un periodo de 2-3 años, ya que la reducción en el consumo es de unos 300 kWh al mes y es de esperar además una reducción de los gastos de mantenimiento.

Bloque 4: Valorización energética de los residuos ganaderos

4.1 Conceptos previos.

Gracias a la valoración de los residuos ganaderos podemos obtener energía para el autoconsumo o suministrarla en la red eléctrica, utilizarla como energía térmica y ahorrar en gastos de gestión de los residuos, con algo que a priori era un deshecho.

La valoración de los residuos se realiza mediante la **digestión anaerobia** de la materia orgánica, que produce una serie de gases, siendo el CH₄ y CO₂ los que se encuentran en mayor proporción, como se muestra en la Tabla 4.1 [1].

Tabla 4.1. Composición media del biogás. [1]

Componente	
Metano (CH ₄)	50-80 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	20-50 %
Otros gases (H ₂ , H ₂ O, NH ₃)	1-5 %
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	100-4000 ppm

Consta de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación de la materia orgánica, utilizada como alimento por las bacterias que intervienen en las etapas: **etapa hidrolítica, acidogénica y metanogénica**. [4]

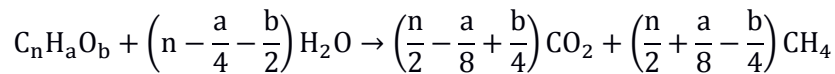
La composición química y naturaleza del residuo condiciona la composición cualitativa de la población bacteriana en cada etapa, siendo este equilibrio fácilmente alterable con la presencia de algún tóxico, influenciando en el correcto desarrollo de algunas poblaciones bacterianas. [4]

4.2 Producción de biogas.

En la producción del biogas, la DQO (Demanda Química de Oxígeno) puede considerarse un parámetro conservativo, la suma de las DQO de entrada debe ser igual a la suma de las DQO de salida: $DQO_{\text{influyente}} = DQO_{\text{efluente}} + DQO_{\text{biogás}}$.

Considerando que el biogás está formado casi exclusivamente por CH₄ y CO₂ y teniendo en cuenta que la DQO del CO₂ es nula, la DQO eliminada en el residuo corresponde con la DQO obtenida en forma de metano, con lo que obtenemos 0,35 m³ de CH₄ por kg de DQO eliminada, a P=1atm y T=0°C [4]

Para la transformación completa de un compuesto en CH₄ y CO₂, Bushwell y Mueller [4] propusieron la siguiente ecuación:



Los resultados obtenidos por esta ecuación son una aproximación, ya que, hay diversos factores que afectan a la producción de biogás; como: la transformación de los elementos del sustrato en componentes de la masa celular de las bacterias, lo cual no produce biogás y los compuestos no biodegradables por la vía anaerobia. [4]

Cada residuo orgánico tiene una expresión estequiométrica diferente, con lo que es necesario la realización de un ensayo de biodegradabilidad anaerobia en el que se mida la cantidad de DQO del residuo que se transforma en CH₄. La producción máxima de biogás depende de la composición relativa de lípidos, glúcidos y proteínas. La producción máxima de biogás para los diferentes componentes es: 0.89 tep/tonelada de lípidos, 0.32 tep/tonelada de glúcidos y 0.42 tep/tonelada de proteínas. [4]

El poder calorífico aproximativo del biogás es de 6,5-7 KWh/m³, siendo la composición del mismo 65% CH₄ y 35% CO₂. Esto supone que 1 m³ de biogás equivale a: 0.6 L de gasoil, 0.7 L de gasolina, 0.3 kg de carbón y 0.6 m³ de gas natural. [16]

4.3 Codigestión.

El rendimiento de biogás está relacionado con varios factores entre los que se incluyen: la especie y estadio de la etapa de crecimiento; la cantidad y tipo de cama y los procesos de degradación durante el almacenamiento. [17]

La co-digestión consiste en el tratamiento conjunto de residuos orgánicos de origen diferente y así complementar las carencias de los sustratos por separado e incrementando la producción de biogás. [4]

Tabla 4.2. Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos. [4]

	Residuos ganaderos	Lodos de depuración	Fracción orgánica de residuos municipales FORM	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑↓	↑	↑
Capacidad Tampón	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑↓	↑	↑

Como podemos observar en la Tabla 4.2 los residuos ganaderos tienen una alta cantidad de micro y macronutrientes, una alta capacidad tampón, por el contrario, posee una baja relación C/N, y materia orgánica biodegradable. [4]

La co-digestión da lugar a procesos más estables y con un incremento significativo de producción de biogás. La producción de 10-20 m³ de biogás/t en una digestión mono-sustrato de deyecciones ganaderas podría duplicarse incorporando un 20-30% de residuos alimenticios. Hay que mencionar que este tratamiento no elimina la carga de nitrógeno y fósforo por lo que es necesario realizar un balance de nutrientes para poder aplicar el digestato al campo. [18]

4.4 Residuos ganaderos en S.A.T. Niveiro

Los principales residuos ganaderos producidos son los formados por los excrementos sólidos y líquidos de las vacas, restos de comida y las camas de los establos. En la Figura 2.2 en la parte de atrás de las naves hay un pequeño triángulo en donde se produce la recepción de los residuos de la parte de arriba de las naves, para que finalmente se almacenen en la fosa séptica situada a la derecha (2736 m³) en la Figura 2.2 y mostrada en la Figura 4.4.



Figura 4.4. Fosa séptica. (Fuente: elaboración propia)

En un estudio previo de Andrés Fajín [19] se diseñó y calculó la instalación de una planta de biogás. De dicho estudio se utilizan los datos de la producción de residuos en la planta, mientras que la posible producción eléctrica a partir del biogás generado se estima en comparación con otras plantas similares ya en funcionamiento.

Primeramente se obtuvo la cantidad de excrementos que generan los animales, los cuales se separan en cuatro grupos (en producción, secas, 6-22 meses y 0-6 meses) a partir de los datos de la Confederación de Asociaciones de Frisona Española (CONAFE). La distribución del ganado según sus edades se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Distribución por edades ganado. [19]

	Nº animales
Mayores 24 meses	260
22-24 meses	25
18-22 meses	30
12-18 meses	40
6-12 meses	40
2-6 meses	30
0-2 meses	15
Total	440

En la tabla 4.4 se representa la producción de excrementos a partir de los datos de distribución de ganado, con la producción de excrementos anual de cada vaca.

Tabla 4.4 Producción excrementos en la ganadería. Fuente: CONAFE. [19]

	Nº animales	Prod. Excrementos (kg/año*vaca)	Prod. Excrementos (Tn/año)
Producción	235	18000	4230
Secas	50	12000	600
6-22 meses	110	6500	715
0-6 meses	45	3500	157,5
Total excrementos			5702,5

Para el cálculo de la producción de excrementos se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Cantidad excrementos} = \sum(\text{Nº animales} * \text{Producción excrementos})$$

El segundo paso fue calcular los residuos de la alimentación y las camas de los animales, los datos se obtuvieron hablando con los ganaderos de la explotación. El porcentaje de residuos de la alimentación se calculó a partir de los datos de la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Distribución por lotes alimentación. [19]

Distribución de la alimentación por lotes							
	Nº vacas	Leche (kg/día*vaca)	Alfalfa (kg/día*vaca)	Silo Maíz (kg/día*vaca)	Silo Hierba (kg/día*vaca)	Paja (kg/día*vaca)	Pienso (kg/día*vaca)
Producción	235	0	3	25	8	0	10
Secas	50	0	0	12	0	5	3
18-22 meses	30	0	1,5	6	6	4	1,5
12-18 meses	40	0	1,5	6	6	4	2
6-12 meses	40	0	1	0	4	5	2
2-6 meses	30	0	1	0	0	4	3
0-2 meses	15	5,5	0	0	0	0	1,5

La alimentación de cada lote lleva una mezcla homogénea y precisa de cada componente de su alimentación para una optimización en la producción de leche y un buen crecimiento de los animales. Los desperdicios de la alimentación se calcularon a partir del total de kg/año. Los operarios de la ganadería se encargaron del pesaje de los desperdicios durante un periodo de 10 días y se cuantificó en un 4%. Las mermas son el resultado de la diferencia entre el forraje aportado al silo y lo que realmente se destina a la alimentación, estimadas en un 6%. Esto sucede porque la parte que queda en contacto con la lona del silo produce una mala fermentación, la cual hace que el alimento no sea apto para la alimentación del ganado. Los propios ganaderos cuantifican las mermas para cuantificar el kilo de alimento, y decidir si cambiar de producto en próximas cosechas. La cantidad de residuos procedentes de la alimentación resulta ser de 420143 kg/año (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Cantidades totales de alimentación y residuos procedentes de la alimentación. [19]

	Kg totales de alimentación y residuos procedentes de la alimentación						
	Leche (kg/día)	Alfalfa (kg/día)	Silo Maíz (kg/día)	Silo Hierva (kg/día)	Paja (kg/día)	Pienso (kg/día)	Total
Producción	0	705	5875	1880	0	0	8460
Secas	0	0	600	0	250	150	1000
18-22 meses	0	45	180	180	120	45	570
12-18 meses	0	60	240	240	160	80	780
6-12 meses	0	40	0	160	200	80	480
2-6 meses	0	30	0	0	120	90	240
0-2 meses	83	0	0	0	0	23	105
Total kg/día	83	880	6895	2460	850	2818	13985
Total kg/año	30113	321200	2516675	897900	310250	1028388	5104525
Desperdicios 4%		12848	100667	35916	12410	41136	202977
Mermas 6%			160061	57106			217167
Total residuos kg/año		12848	260728	93022	12410	41136	420143

Una vez calculados todos los residuos procedentes de los excrementos y restos de comida, hay que calcular los residuos de las camas, los cuales van íntegros a convertirse en residuo, aunque no es sustituido completamente cada día, sino que solo se elimina una parte de él diariamente, la mostrada en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Residuos procedentes de las camas. [19]

	Camas por lote	
	Paja (kg/día)	Serrín (kg/día)
Producción	200	286
Secas	211	0
12-22 meses	16	20
6-12 meses	130	0
2-6 meses	130	0
0-2 meses	75	0
Total kg/día	762	306
Total kg/año	278130	111690

Conocidos los residuos procedentes de los excrementos, alimentación y las camas solo queda sumar todos los residuos para obtener la producción anual alrededor de 6500 tn/año (tabla 4.8)

Tabal 4.8 Producción final de residuos. [19]

Alfalfa (kg/año)	12848
Silo Maíz (kg/año)	260727
Silo Hierva (kg/año)	93022
Paja (kg/año)	12410
Pienso (kg/año)	41135,5
Paja (kg/año)	278130
Serrín (kg/año)	111690
Excrementos (kg/año)	5702500
Total residuos (kg/año)	6512463

Como se expuso en la parte de co-digestión, si se pretende mejorar la producción de biogás sería bueno introducir un 20-30% de otros residuos agroalimentarias con lo que las toneladas a tratar aumentarían.

La producción de residuos de la granja, calculada como se ha mostrado en unas 6500 t/año, tiene un potencial de producción de biogás de unos $1.8 \cdot 10^5$ m³/año, utilizando el valor medio de producción de 30 m³/t, presentado anteriormente. El poder calorífico de dicho biogás corresponde a aproximadamente 1 GWh/año, considerando 6.5 kWh/m³. En el caso de utilizar el biogás producido para la cogeneración eléctrica y térmica, se dispondría de unos 300-400 MWh eléctricos y aproximadamente otros tantos térmicos, con un motor de 120 kW en funcionamiento durante 8500 horas anuales.

Como comparación, en una planta de Undues de Lerda (Zaragoza), que gestiona aproximadamente 6000 tn/año de deyecciones porcinas y con una caldera de 140 kW[20] se obtiene una producción anual de 900 MWh, sin existencia de co-generación, lo que suponen 75 MWh por mes, con un presupuesto de 220.000 € [21]

Se observa también que la producción eléctrica excedería para el abastecimiento del 100 % del consumo en la granja, ya que el consumo medio mensual es aproximadamente de 8 MWh.

Bloque 5: Otras fuentes renovables de energía

5.1 Energía solar.

La energía solar es una energía prácticamente inagotable. Las reacciones termonucleares que se producen en el sol, liberan gran cantidad de energía. No toda esa energía llega a la tierra, solo una ínfima parte llega a la superficie terrestre. La energía procedente del Sol es unas 10000 veces superior a nuestro consumo actual, de tal modo, con utilizar el 0,01% de la energía que nos llega nos bastaría para cubrir las necesidades de todo el planeta. [22]

La intensidad de la radiación solar que llega a la tierra varía según la época del año y la región considerada, ya que la inclinación y la distancia entre el Sol y la Tierra también cambia. Por eso a la hora de analizar la potencia producida por los captadores solares se ha de tener en cuenta estas variaciones.

Aunque se puede aprovechar la radiación solar directamente tanto en paneles solares térmicos como fotovoltaicos, a continuación se plantea el uso de paneles fotovoltaicos por ser la producción eléctrica más versátil.

5.1.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos.

Actualmente los tipos más utilizados de paneles solares fotovoltaicos que se encuentran en el mercado y ocupan casi todo el mercado son:

- Paneles solares monocristalinos: son los que tienen el mayor rendimiento, hasta el 24% en estudios de laboratorio y 20% en la fabricación en serie. Se consiguen de silicio puro fundido y dopado con boro, el inconveniente que tienen es un precio medio muy alto, por su eficiencia energética son los más utilizados. [23]
- Paneles solares de policristalinos: tienen un rendimiento entre 12 y 14% con un espesor de varias micras lo que produce que su coste sea menor, ya que se utiliza menos silicio y su fabricación es más sencilla. [23]
- Paneles solares amorfos: proporcionan un rendimiento inferior al 10%. Se instalan en tejados (tejas solares) y oficinas en donde se aplican a tamaños considerables por su fácil adaptabilidad, además gracias a que son extremadamente delgados hacen que sean económicamente rentables. [23]

También podemos encontrar otro tipo de paneles, aunque menos comunes en el mercado, como pueden ser los compuestos por sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre, tienen un rendimiento en la actividad industrial entorno al 5%. Por otra parte los paneles solares de arseniuro de galio, que

son los más eficientes, tienen el inconveniente de que el material del que están hechos escasea, lo cual aumenta considerablemente su precio de los paneles solares haciendo que su rentabilidad sea menor. [23]

5.1.2 Caso de estudio.

Para la estimación de la producción eléctrica solar se hizo uso del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) y se obtuvo los resultados de la Figura 5.1 [24].

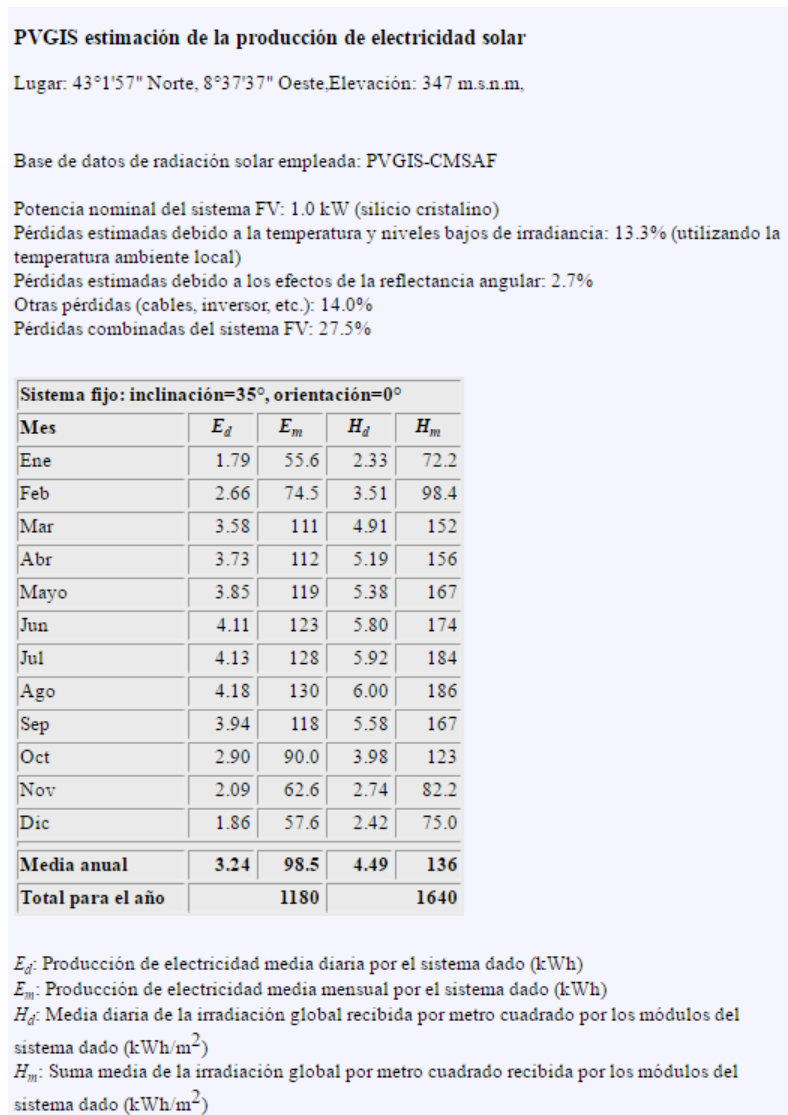


Figura 5.1. Producción eléctrica solar en la ganadería. Fuente: PVGIS [24]

La producción eléctrica calculada en la Figura 5.1 es para una instalación de 1 kW de potencia, el programa tienen en cuenta la localización, las pérdidas por temperatura y bajos niveles de irradiación en la zona de estudio, además de otras pérdidas (cables, batería, transformador...) que se asumen de un 14%.

Para calcular la capacidad real de producción disponible en nuestro tejado, primero debemos conocer los m² reales que ocupa cada panel solar, puesto que hay que dejar una separación entre paneles para que no se hagan sombras entre ellos y así conocer la potencia que se puede instalar.

Para la realización de los cálculos se utilizó la siguiente expresión (ver Figura 5.2): [25]

$$d = h / \operatorname{tg}(61^\circ - \beta) ; \quad h = \operatorname{sen} 35^\circ * L. \text{ panel} = \operatorname{sen} 35^\circ * 1,965 = 1,027 \approx 1,03 \text{ metros}$$

$$d = 1,13 / \operatorname{tg} (61^\circ - 43^\circ) = 1,13 / \operatorname{tg} 18^\circ = 3,88 \approx 3,90 \text{ m}$$

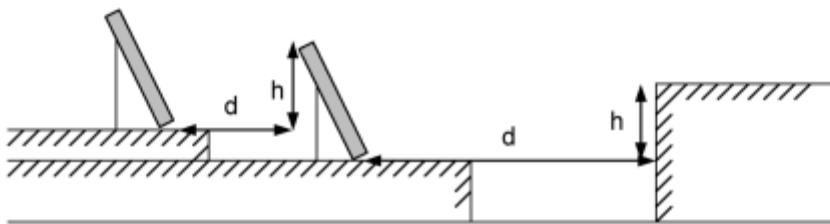


Figura 5.2. Separaciones mínimas d entre módulos fotovoltaicos.

En nuestro caso, se ha considerado el uso de un Panel Solar 320W 24V, con un precio de 367,79 €. Las características del panel solar son [26]:

Potencia (W) 320W

Tensión a máxima potencia Vmp 37,56V

Eficiencia del Módulo 16,96%

Tipo de Célula del Panel Monocrystalino

Tensión Circuito Abierto Voc 46,08V

Potencia Panel Solar Entre 300W – 350W

Voltaje del Panel Solar 24V

Dimensiones Panel Solar Largo x Ancho x Grueso (mm) 1965x995x40 mm

Peso del Panel Solar 21,5 Kg

Marco del Panel Solar Aleación de Aluminio anodizado / plata

Corriente en Cortocircuito Isc 9 A

El espacio real ocupado por 1 panel solar sería de aproximadamente 3,9 m². Si tenemos una superficie de tejado de la granja de 3247 m² y suponiendo que de esa superficie solo se ocupen 3000 m², se podría colocar hasta 769 placas solares, con una potencia instalada de 246 kW. Partiendo de los datos de la Figura 5.1 de la producción de electricidad mensual con una instalación de 1 kW, se obtuvo la producción para nuestra potencia instalada, mostrada en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Producción de electricidad diaria (kWh) de la instalación solar.

	Prod. elec. diaria p=1kW	Prod. elec. diaria instalación p=246kW
Enero	1,79	440,34
Febrero	2,66	654,36
Marzo	3,58	880,68
Abril	3,73	917,58
Mayo	3,85	947,1
Junio	4,11	1011,06
Julio	4,13	1015,98
Agosto	4,18	1028,28
Septiembre	3,94	969,24
Octubre	2,9	713,4
Noviembre	2,09	514,14
Diciembre	1,86	457,56

La producción total anual acumulada del sistema fotovoltaico presentado sería de unos 285 MWh. Esta producción representa 3 veces las necesidades anuales de energía eléctrica de la granja, haciendo una extrapolación de los datos de las facturas eléctricas a todo un año, que resulta en unos 96 MWh. Si tomamos un valor aproximado de consumo diario a partir de las facturas eléctricas, con un consumo de 71279 kWh en 270 días, obtenemos que el consumo diario es de 264 kWh, el cual es inferior a la producción en cualquier mes del año. En enero, el mes con la menor producción, con un sistema redimensionado a la mitad de las placas casi nos llegaría para el consumo del peor mes. Por otro lado, el coste de un sistema fotovoltaico redimensionado a la mitad, con 385 placas solares sería aproximadamente de 142000 € sin contar con el inversor, la instalación y el resto del sistema fotovoltaico.

En un escenario legal de balance neto anual, que existe en algunos países pero todavía no en España, sería conveniente redimensionar la instalación a un tercio de la propuesta.

5.2 Energía eólica.

A lo largo de la historia el ser humano se ha beneficiado de la energía eólica, primero para navegar por el mar, más tarde para los tradicionales molinos de molienda de maíz, también se llegaron a utilizar para la extracción de agua, las llamadas aerobombas. Con la llegada de la era del carbón y más tarde el petróleo se produjo un declive de las máquinas eólicas, aunque disponían de una considerable eficiencia energética. Con la llegada de la crisis del petróleo en los años 70 las energías renovables volvieron con fuerza y se produjo un avance importante en las siguientes décadas.

Hoy en día, la energía cinética del viento se aprovecha principalmente de dos formas para generar energía eléctrica:

-Grandes parque eólicos: están situados en los lugares donde se encuentra mucho viento y constante (cimas y valles de montaña). Son aerogeneradores de gran tamaño y potencia que suelen estar situados lejos de los centros de consumo eléctrico.

-Pequeños aerogeneradores: son instalaciones de uno o varios aerogeneradores de baja potencia, actualmente son una opción cada vez más utilizada para viviendas o granjas con acceso a la red para disminuir su dependencia energética de la red.

5.2.1 Estudio del potencial eólico.

Los datos utilizados para el análisis estadístico de los vientos se refieren a la estación de Paramos, obtenidos de Meteogalicia en la sección de acceso a datos. [27] Esta estación se encuentra aproximadamente a 30 km de distancia de la ganadería, con lo que vamos a suponer que son los mismos datos que hay en la zona de estudio, aunque lo que habría que tener son los datos de velocidad y dirección del viento que hay en la ganadería, lo cual en este caso no ha sido posible y se utilizarán los de la estación meteorológica anteriormente citada.

Los datos analizados son desde el 1/01/2015 hasta el 31/12/2015. La estación meteorológica suministra los datos cada 10 minutos. A partir de estos datos se calcularon las medias de las velocidades y de las direcciones del viento en cada hora y así analizaron la distribución y frecuencia de ambas variables, gracias al software WRPLOT.

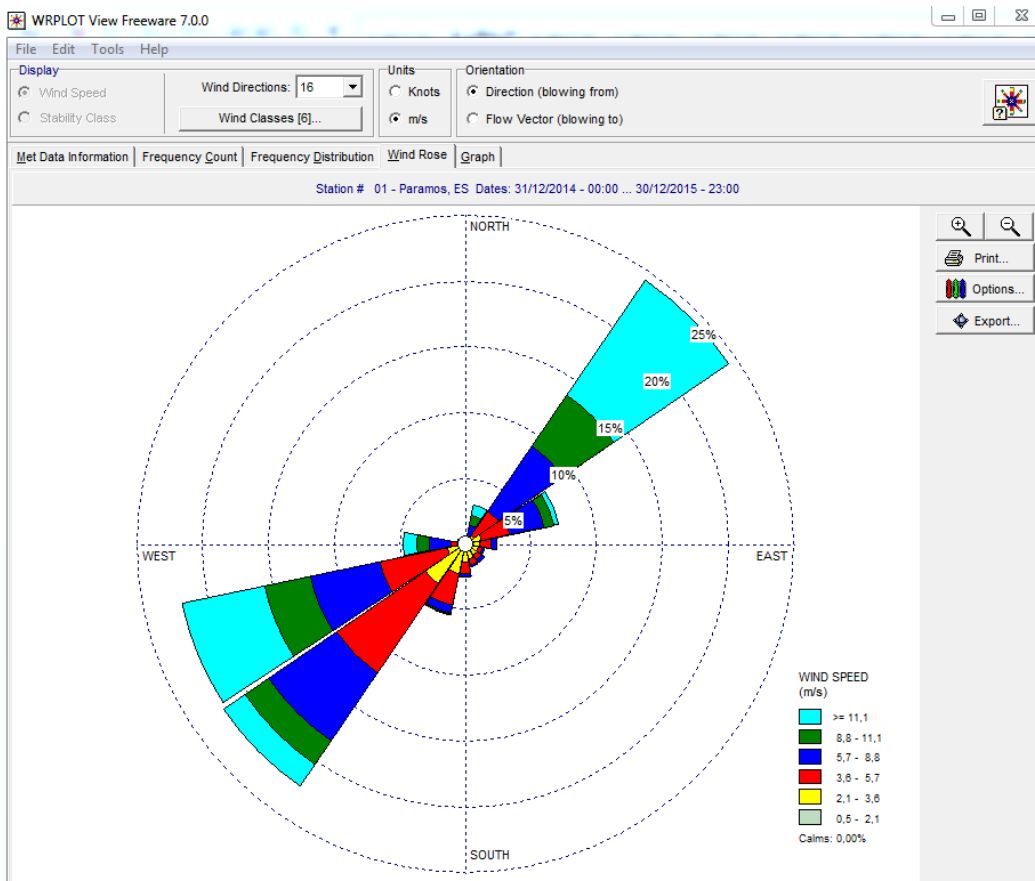


Figura 5.3 Distribución de la dirección de los vientos. (Fuente: elaboración propia)

Gracias a la distribución de la dirección del viento podremos conocer la dirección correcta para situar el aerogenerador, poniendo los posibles obstáculos en los cuadrantes donde no hay viento además de conocer la distribución de la velocidad.

En la Figura 5.3 observamos que la mayoría de los vientos se concentran entre el Oestesuroeste y Sursuroeste, presentándose la dirección del viento bien concentrada hacia el suroeste. Esto lo tenemos que tener en cuenta a la hora de situar el aerogenerador, dejando los posibles obstáculos en los lados en los que no se concentra el viento, y que así, no influyan en el funcionamiento del aerogenerador.

En la Figura 5.4 observamos que en el 55 % del tiempo la velocidad del viento es de 0-2 m/s, teniendo más de un 40% con velocidades superiores a 2m/s. Estos datos son a 2,3 metros de la superficie del suelo.

Para el cálculo de la producción hay que ajustar la velocidad del viento a la altura a la que se va a instalar el aerogenerador y así saber qué velocidad disponemos a esa altura.

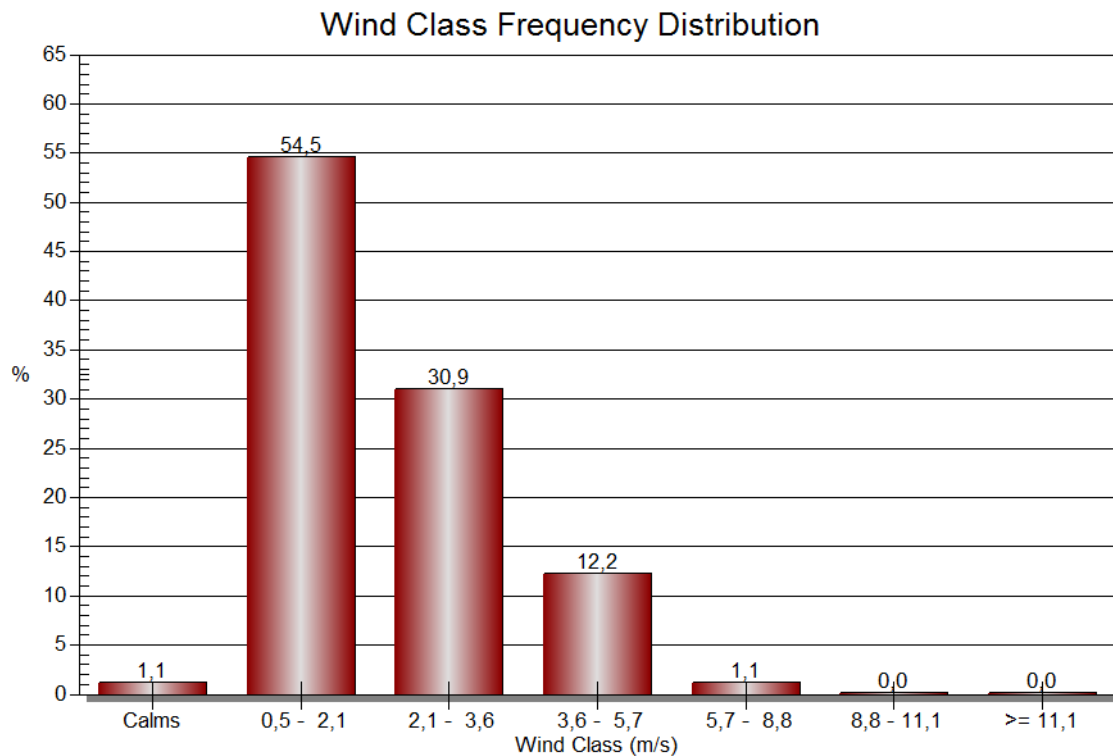


Figura 5.4. Distribución de la frecuencia de la velocidad del viento. (Fuente: elaboración propia)

Para calcular la velocidad del viento a una altura mayor y ver como varía, se utiliza la siguiente ecuación: [28]

$$V_1 = V_2 * \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha$$

Donde V_1 es la velocidad que queremos conocer a la altura h_1 , V_2 es la velocidad conocida con su correspondiente altura h_2 y α es el coeficiente de rugosidad del terreno (ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Estimación de α según el tipo de terreno. Fuente [28]

Tipo de terreno	α
Liso (mar, arena, nieve)	0,10-0,13
Rugosidad moderada (hierba, cultivo)	0,13-0,20
Rugoso (Bosques, edificaciones)	0,20-0,27
Muy rugoso (ciudades)	0,27-0,40

Después de ajustar la velocidad con diferentes alturas seleccionadas obtenemos los resultados de la variación del viento con la altura, mostrados en la Tabla 5.3, donde se ha utilizado el valor de rugosidad correspondiente a terreno rugoso de 0.25.

Tabla 5.3. Evolución de la velocidad promedio mensual del viento (m/s) con la altura de 15, 20 y 30 m. Fuente: elaboración propia.

Meses	Vel 2,3 m	Vel 15 m	Vel 20 m	Vel 30 m
Enero	1,96	3,13	3,36	3,72
Febrero	2,54	4,06	4,36	4,83
Marzo	2,75	4,39	4,72	5,22
Abril	1,78	2,84	3,05	3,38
Mayo	2,57	4,11	4,41	4,88
Junio	1,91	3,05	3,28	3,63
Julio	1,84	2,93	3,15	3,49
Agosto	1,91	3,05	3,28	5,11
Septiembre	1,96	3,14	3,37	3,73
Octubre	2,23	3,57	3,84	4,25
Noviembre	1,69	2,71	2,91	3,22
Diciembre	2,47	3,95	4,25	4,7

Con el fin de analizar el potencial eléctrico se ha calculado las velocidades medias de cada mes, a partir de los datos de las Figuras 5.1 y 5.2, obteniendo las velocidades para cada altura que se muestran en la Tabla 5.3 para comprobar si existe viento suficiente para la instalación del aerogenerador.

A partir de los 30 metros disponemos de unas velocidades medio-bajas para conseguir un mínimo de aprovechamiento de la energía eólica en la granja, si utilizamos aerogeneradores que trabajen a velocidades bajas.

Para estimar el potencial eléctrico del aerogenerador, primero calculamos la potencia extraíble del viento con la ecuación. [28]:

$$P = \frac{S * \rho * V^3}{2}$$

Donde P es la potencia en W, ρ es la densidad del aire en kg/m^3 , S es la superficie barrida por el rotor en m^2 , y V es la velocidad del viento en m/s .

De esta potencia no toda se convierte en electricidad, hay que aplicarle el coeficiente de potencia (C_p) cuyo valor máximo en teoría puede ser 0,59 (límite de Benz) [28]. En nuestro caso el valor aplicado fue $C_p = 0,45$, para tener en cuenta también las ineficiencias del aerogenerador en la conversión de energía cinética del viento en energía mecánica de rotación, así como la nula conversión por debajo de la velocidad de arranque, resultando ese valor para el promedio de la curva de eficiencia.

Los resultados de la Tabla 5.4 se han calculado a partir de los datos obtenidos cada 10 minutos de la estación meteorológica, con el ajuste de la altura correspondiente. Se optó por utilizar la serie de datos cada 10 minutos para no perder las rachas de viento y tener así una mejor estimación del potencial eléctrico de la zona.

Para estimar la energía eléctrica producida en cada mes, primero se obtuvo la potencia del viento para cada instante (6 valores por hora) y a continuación se sumaron todas las potencias en kW de cada mes y se le aplicó el C_p (0,45) y la eficiencia del generador (0,95). Para obtener la energía en kWh se aplicó el factor 1/6. Así se obtuvo la producción eléctrica de cada mes a las diferentes alturas y con dos superficies de barrido correspondientes a diferentes a diferentes aerogeneradores. El aerogenerador 1, con una superficie de barrido de $50,2 \text{ m}^2$, una potencia nominal de 10 kW y un diámetro de 8 m. El segundo aerogenerador tiene una superficie de barrido de 254 m^2 , una potencia nominal de 50 kW y un diámetro de 18 m.

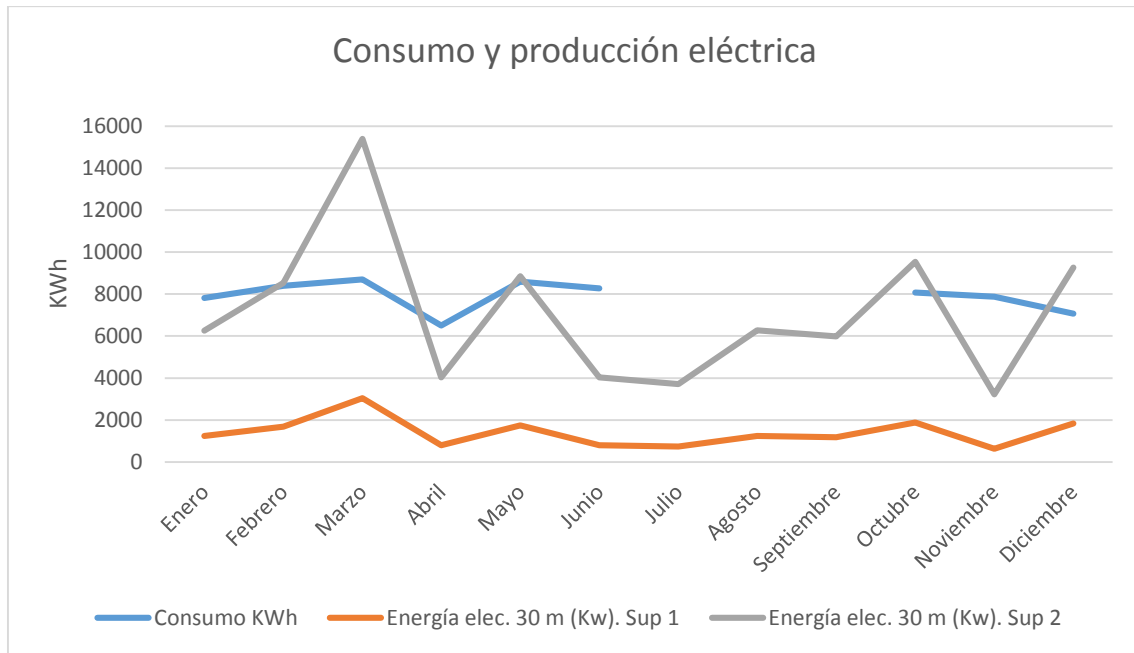


Figura 5.5. Distribución del consumo y energía eléctrica producida. Fuente: elaboración propia.

Como se ve en la Figura 5.5, la producción de energía es mayor a 30 metros y con la superficie de barrido mayor, ya que las velocidades son mayores y en la ecuación aplicada la velocidad está elevada al cubo. También se observa que un aerogenerador de 50 KW no es suficiente para abastecer por completo la granja, pero en producción de energía eléctrica anual acumulada se acerca al consumo de la granja.

Tabla 5.4 Producción energía eléctrica. Fuente: elaboración propia.

	Consumo (kWh)	Energía elec. 30 m (kWh). Sup 1	Energía elec. 30 m (kWh). Sup 2
Enero	7806	1236	6263
Febrero	8394	1684	8529
Marzo	8700	3039	15395
Abril	6507	796	4032
Mayo	8588	1747	8849
Junio	8271	796	4032
Julio	-----	731	3705
Agosto	-----	1237	6267
Septiembre	-----	1181	5983
Octubre	8076	1882	9531
Noviembre	7871	637	3224
Diciembre	7066	1827	9257
Total	71279	16793	85069

5.2.1 Estudio viabilidad económica.

Para evaluar el valor de la energía producida por parque eólico hay que tener en cuenta los siguientes aspectos [28]:

-Inversión inicial (I_i): engloba los gastos totales de la instalación y puesta en funcionamiento del aerogenerador o la planta eólica, desde permisos hasta carretera de acceso. Estos costes son variables dependiendo de la localización geográfica de la instalación.

-Costes de operación y mantenimiento (C_{om}) por unidad de energía: Aquí suelen incluirse los costes del seguro de la planta y el alquiler de los terrenos, en caso de que hayan estos gastos, a los gastos de operación y mantenimiento, los cuales se estiman entre el 1% y el 2% de la inversión inicial.

-Tasa de interés aplicada (r): Es el tipo de interés medio del dinero en el momento del estudio.

-Vida útil de la planta (n): Es el tiempo que se estima que la planta va estar en funcionamiento, que suele estar alrededor de 20 años. C_{om}

-El coste de generación de electricidad mediante energía eólica se estima distribuyéndose entre los costes de capital por unidad de energía producida y costes de operación,

$$\frac{\text{Precio}}{\text{KWh}} = \text{Costesdelcapital} + C_{om}$$

Los costes de capital, dependen del capital invertido (I_i) y de la tasa interna de retorno (TIR), la potencia nominal de la instalación (P) y del factor de capacidad (FC), representado por el cociente de la energía producida anualmente (KWh) entre la potencia instalada (KW) y dividido por el número de horas del año (8760).

$$\text{Costedel capital/KWh} = \left(\frac{I_i}{P_i}\right) * \left(\frac{TIR}{FC * 8760}\right)$$

$$TIR = \frac{r}{[1 - (1 + r)^{-n}]}$$

Donde la tasa de interés $r = 7\%$ y la vida útil $n = 20$ años.

El valor de C_{om} , costes operacionales y de mantenimiento, se calcula multiplicando el % porcentaje de mantenimiento (1-2%) por la inversión inicial y dividirlo por la producción esperada:

$$C_{om} = \frac{0.02 * I_i}{\frac{TIR}{FC * 8760}}$$

Teniendo en cuenta la producción de energía eléctrica de la Tabla 5.3, de las superficies 1 y 2 a una altura de 30 metros y realizado el estudio de viabilidad, el factor de capacidad (FC) es muy similar en ambos casos, 0,1917 para el aerogenerador 1 y 0,1942 para el aerogenerador 2. Con un FC inferior al 20% no se recomienda la instalación del aerogenerador y en nuestro caso están prácticamente en ese valor. Cabe mencionar que este estudio de viabilidad está enfocado a la venta rentable de energía eléctrica. Este estudio de viabilidad se aplica para parques eólicos, en este caso se está aplicando en la instalación de un único aerogenerador para autoproducción, con lo que el resultado podría diferir del real.

Bloque 6: Propuestas y conclusiones

6.1 Posibles medidas.

La primera medida y más fácil de realizar es la sustitución de la luz por tubos leds reduciendo el consumo de la luz a la mitad. El coste de la inversión sería de 1600 € más el coste de la instalación, una inversión rentable.

La planta de biogás es una opción ambientalmente muy importante, ya que los residuos ganaderos generan GEI mientras están en la fosa séptica almacenados. Con la instalación de la planta de biogás, con unas características y producción eléctrica expuestas en el Bloque 4, no solo generamos electricidad, sino que también producimos abono líquido y sólido (digestato), además de la eliminación de los malos olores en el almacenamiento del purín. La inversión del proyecto estaría entre 200.000-500.000 €, con una tasa de retorno de 4-8 años según cada caso, y una producción energética total mensual de unos 75 MWh, como vimos con anterioridad.

En el bloque 5 vimos que la producción eléctrica mediante placas solares también puede resultar suficiente para el consumo eléctrico de la instalación, aun siendo frecuente la nubosidad en Galicia. Se necesitaría una gran instalación de placas fotovoltaicas, algo más de la mitad de las que se pueden instalar en la cubierta de la granja para abastecer prácticamente el 100 % de la demanda en invierno. Además en nuestro caso el tejado no es plano, lo que encarecería la instalación si se quiere poner la orientación e inclinación óptimas. El coste de la compra de 385 placas solares sería aproximadamente de 142000 € sin contar el resto del sistema fotovoltaico, instalación, inversor, etc. El precio final estaría muy próximo al de la instalación de la planta de biogás del caso mencionado de la planta de Zaragoza.

En cuanto al aerogenerador, el factor de capacidad FC que hace referencia al porcentaje de horas que el aerogenerador va a funcionar anualmente es inferior a 20 %, lo que en principio no es rentable. Aunque el cálculo de viabilidad empleado es adecuado para un parque eólico y se aplicó para la instalación de un único aerogenerador de 10 y 50 KW de potencia. El precio de la inversión a partir del que se realizaron los cálculos es de 45000 € para la instalación del aerogenerador de 50 KW de potencia. Un aerogenerador sólo no llegaría para cubrir la demanda diaria o mensual, pero si serviría para reducir el número de paneles solares considerablemente. Además, el carácter complementario de ambas instalaciones reduciría la intermitencia en la generación eléctrica.

Como vimos en el bloque anterior, con la utilización de placas solares y aerogeneradores-sería más que suficiente para generar la totalidad de energía eléctrica consumida en la granja incluso con un solo sistema, y la producción sería suficiente no solo para el autoconsumo sino para su venta. La instalación más específica para este tipo de instalaciones ganaderas, la planta de biogás,

resulta en una producción energética mucho mayor que las anteriores, a lo que se añaden los beneficios ambientales mencionados.

6.3. Conclusiones.

Actualmente vemos como sí es posible que nuestros edificios, empresas y casas tengan baja o nula demanda de energía, eléctrica o de otros tipos y que pueden producir la electricidad que necesitan para su funcionamiento.

Una vez analizados los consumos y las posibles mejoras en los usos y eficiencia energéticas, se propone una medida de ahorro mediante el cambio de la instalación de iluminación de la granja, que se puede amortizar en pocos años aunque constituye una pequeña parte del consumo total.

La energía producida por las tres opciones de autoproducción estudiadas es más que suficientes para el autoconsumo e incluso la venta de energía. Un correcto dimensionamiento de la planta de biogás nos ahorraría la factura de la luz completamente y además estaríamos evitando la expulsión de los GEI producidos en la fosa séptica por la descomposición durante su almacenamiento, reduciendo los gastos de gestión de los residuos y facilitando su uso como fertilizante.

La instalación de un sistema combinado eólico-solar también es una buena opción, ya que habitualmente cuando hay sol no hay viento y viceversa, con lo que se complementan muy bien. Pero la opción que más beneficios tiene es la instalación de la planta de biogás. De toda la energía que se generaría en un motor de cogeneración, solo se necesitaría alrededor del 30 % de la energía eléctrica producida para abastecer el 100 % de la demanda de la granja, el resto de la energía sería para la venta. Además se dispondría de una cantidad similar de energía térmica para otros usos. También eliminan malos olores, produce abono líquido y sólido para la utilización en los cultivos de la granja. El precio de la instalación estaría muy próximo al precio de la instalación eólico-solar.

Como comentario final decir que, si en España se legislara como en otros países avanzados, en los que se fomenta el autoconsumo como en el sistema de balance neto anual, o mediante primas a energías renovables, este tipo de proyectos de ejecución serían mucho más viables y atractivos de cara al inversor y al consumidor. También el nivel de dependencia del país de las fuentes de energía fósil disminuiría, mejorando la balanza económica y a la vez estaríamos evitando la contaminación asociada. Y lo más importante: se haría más sostenible la ganadería en un siglo en el que el mayor reto es el cambio climático, al cual hay que combatir evitando la emisión de GEI.

Referencias bibliográficas

- [1] J.Sancho: Gestión de la energía, Ed.UPV, 2009.
- [2] Objetivos de desarrollo sostenible. ONU [Fecha: 5/9/2016]
- [3] Our Renewable Future. Richard Heinberg and David Fridley.
<http://ourrenewablefuture.org/#the-book> [Último acceso: 25/08/2016]
- [4] Elias Castellas, X. Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid: Díaz de Santos, 2005
- [5] La Energía en España, 2014. [Último acceso: 25/08/2016]
- [6] http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es [Último acceso: 25/08/2016]
- [7] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
- [8] David Glez Eirexas. 2016. SAT Niveiro: como hacer rentable la mejora genética del ganado Frisón. [Último acceso: 28/08/2016]
- [9] Programa de mejora de la raza bovina frisona. <https://aplicaciones.magrama.es/arca-webapp/descarga/fichero.html?nombre=Programa%20Mejora%20Raza%20Bovina%20Frisona.%20Def.I.pdf&contentType=application/pdf>
- [10] Ministerio de industria, turismo y comercio. Ahorro y eficiencia Energética en instalaciones ganaderas.
- [11] Som Energía. <http://es.support.somenergia.coop/article/176-que-horarios-tienen-los-periodos-de-la-tarifa-3-0a> [FECHA: 5/8/2016]
- [12] Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. Edición tricentenario. [Último acceso: 25/08/2016]
- [13] IDEA. Auditorías energéticas en instalaciones ganaderas. Parte 1. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Auditorias_Inst_Ganaderas_A2010_3f4c1a6b.pdf
- [14] Tubos de leds <http://www.tubosdeled.com/tabla-de-equivalencias/> [Último acceso: 25/08/2016]
- [15] Ms Schippers. <https://www.schippersweb.com/ganado/equipamiento-establo/iluminacion-establo-8954/> [FECHA: 5/8/2016]

- [16] Probiomasa. http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/Biogas.pdf [FECHA: 5/08/2016]
- [17] Energylab. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. Potencial del biogás vacuno en Galicia. <http://docplayer.es/12116631-Potencial-de-biogas-vacuno-en-galicia.html> [Último acceso: 1/09/2016]
- [18] Centro tecnológico AINIA. Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales. Departamento de calidad y medio ambiente. <http://www.biogaslechero.cl/wp-content/uploads/2016/07/Valorizacion-energ%C3%A9tica-producci%C3%B3n-biog%C3%A1s-Centro-Tecnol%C3%B3gico-AINIA-1.pdf> [Último acceso: 15/11/2016]
- [19] Andrés Fajín. Diseño y cálculo de una planta de biogás a partir de residuos ganaderos.
- [20] Biovec. <http://referencias-biovec.blogspot.com.es/> [Último acceso: 15/11/2016]
- [21] Plantas de biogás a pequeña escala para autoconsumo energético en industrias agroalimentarias. I Jornada de Biogás en Galicia. http://www.energylab.es/fotos/150130103351_Cgq6.pdf [Último acceso: 15/11/2016]
- [22] Miguel Moro Vallina, Instalaciones solares fotovoltaicas.
- [23] M. Carlos Tobajas Vázquez Instalaciones solares fotovoltaicas.
- [24] PVGIS. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=europe> [Último acceso: 8/08/2016]
- [25] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. IDAE [Último acceso: 1/08/2016]
- [26] Auto Solar. https://autosolar.es/panel-solar/panel-solar-monocristalino/panel-solar-320w-24v-monocristalino-atersa_precio [Último acceso: 15/11/2016]
- [27] MeteoGalicia. http://www.meteogalicia.gal/observacion/rede/redeIndex.action?request_locale=gl [Último acceso: 1/08/2016]
- [28] M. Castro Gil, A Colmenar Santos, C. Sánchez Naranjo. Monografías técnicas de energías renovables. Energía Eólica.