



# **ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN EÓLICA-DIESEL EN GRANJAS PORCINAS**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**CURSO ACADÉMICO 2010-2011**

Autor: Alberto Marqueta Cavero

Director: Andrés Llombart Estopiñán

Titulación: Ingeniería Industrial

Mención: Energía y Tecnología de Calor y Fluidos

Centro Politécnico Superior



## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría expresar en estas líneas mi agradecimiento a las personas que me han apoyado y han estado a mi lado durante el desarrollo de este proyecto.

Al director del proyecto, Dr. Andrés Llombart Estopiñán, quien ha estado pendiente de la evolución del proyecto en todo momento, por su ayuda y sus consejos.

A mi padre, Miguel Ángel, por introducirme en el apasionante mundo de la energía eólica. Por su ayuda, para obtener la información que se requería en cada momento.

A Sara, por soportar mis “chapas” no sólo durante la realización del proyecto, sino también a lo largo de toda la carrera.

A mi familia, por todas las veces que me han preguntado y se han preocupado por saber cómo iba evolucionando el proyecto. En particular, a mi madre, Merche, por los cientos de veces que ha escuchado mis preocupaciones.

No querría olvidarme de mis amigos, quienes se han preocupado por los avances que se iban sucediendo en el proyecto, siempre preguntando con la sorna que les caracteriza.



## **ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN EÓLICA-DIESEL EN GRANJAS PORCINAS**

### **RESUMEN**

El proyecto plantea la integración de un sistema híbrido eólico-diesel en granjas porcinas que se encuentran aisladas de la red eléctrica y que cubren su demanda eléctrica mediante la energía producida por los grupos electrógenos diesel. La implantación del sistema híbrido se podría estudiar (utilizando el mismo método que en este proyecto) para cualquier otro tipo de industria o zona que cumpliese las condiciones descritas. El objetivo principal es realizar un análisis de los costes energéticos que conlleva su implantación y compararlo con el sistema anterior para concluir si es rentable la implantación del sistema híbrido. En la medida de lo posible, los datos utilizados en los estudios están basados en la realidad.

Para determinar cuál será el sistema óptimo, se evalúa el número de grupos diesel necesarios y su potencia nominal. Por lo que respecta a la energía eólica, los parámetros a estudiar son: cuántos aerogeneradores y de qué potencia nominal se deben instalar y la posibilidad de que sean nuevos o usados.

Los estudios se realizan con Homer, software recomendado para evaluar la viabilidad económica de sistemas energéticos especialmente con energías renovables. Con el sistema óptimo ya determinado para el caso base, se evalúa qué ocurre (mediante análisis de sensibilidad principalmente) si las circunstancias del mercado para los aerogeneradores varían (precios y años de vida). También se estudian otras soluciones como implantar baterías o calcular hasta qué distancia es rentable llevar la red al emplazamiento estudiado y la influencia de la velocidad del viento en el coste de la energía producida por el sistema óptimo.

Los análisis se han ejecutado para dos granjas diferentes. A una se le denomina granja “grande” (900.000 kwh/año) mientras que la otra se considera granja “mediana” (540.000 kwh/año). A continuación, se exponen los resultados obtenidos:

- En el caso de la granja grande, el sistema óptimo queda compuesto por 5 grupos electrógenos diesel de 100 Kw (125 Kva) y un Aerogenerador usado de 335 kw de potencia nominal.

- En la granja mediana el sistema óptimo se compone de 5 grupos electrógenos diesel de 80 kw (100 Kva) y un Aerogenerador Usado de 300 kw de potencia nominal.

En ambas granjas se produce un importante ahorro. En la primera, el coste de la energía producida por el sistema híbrido es de 0,225 €/kwh y en la segunda de 0,253 €/kwh, frente a los 0,3 €/kwh cuando sólo hay grupos electrógenos diesel, lo que supone un ahorro de un 22% y un 15,7%, respectivamente. Los análisis efectuados variando (precio y vida de los aerogeneradores), demuestran que el sistema óptimo es muy robusto ya que sólo varía en algún escenario concreto. Al añadir baterías se produce un descenso para ambos casos aunque la inversión es de un 80% más, con respecto al coste del sistema híbrido. Dado que la instalación se encuentra aislada, se ha calculado la distancia que tiene que haber entre la red más cercana y la granja para que sea más rentable extender la red que desarrollar el híbrido eólico-diesel.

Los resultados demuestran que la integración de un sistema híbrido eólico-diesel es una solución muy atractiva para las granjas en particular y para las zonas aisladas en general.



## **ÍNDICE GENERAL**

<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>ii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>iii</b>
<b>Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enfoque.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Contenido y Estructura del Proyecto.....	3
<b>Capítulo 2 TRATAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Consumos Eléctricos.....	5
2.2 Evolución del Precio del Gasóleo B.....	8
2.3 Grupos Electrógenos Diesel.....	9
2.4 Estudio del Recurso Eólico.....	11
2.5 Costes de Instalación de Energía Eólica.....	14
<b>Capítulo 3 PRESENTACIÓN DE SOTWARE HOMER.....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 4 ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Sistema Óptimo (caso base).....	20
4.2 Influencia de la Velocidad del Viento.....	24
4.3 Análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados.....	27
4.4 Análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo.....	32
4.5 Incorporación de Baterías.....	35
4.6 Extensión de la Red Eléctrica.....	37
<b>Capítulo 5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>Capítulo 6 REFERENCIAS.....</b>	<b>43</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Datos del Sector Ganadero en Aragón.....	2
Tabla 2.1.1 Discriminación Horaria.....	5
Tabla 4.6.1 Distancia hasta la que se debería extender la red para distintos precios de la energía (Granja Grande).....	37
Tabla 4.6.2 Distancia hasta la que se debería extender la red para distintos precios de la energía (Mediana).....	38

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1.1 Consumos Eléctricos de un año tipo para la Granja Grande.....	6
Figura 2.1.2 Consumos Eléctricos de un año tipo para la Granja Mediana.....	6
Figura 2.2.1 Evolución del Precio del Gasóleo B.....	8
Figura 2.3.1 Relación Precio por Kw en Grupos Electrógenos Diesel.....	10
Figura 2.4.1 Velocidad Media del Viento en los últimos 10 años.....	11
Figura 2.4.2 Parámetros de la Velocidad del Viento.....	12
Figura 2.4.3 Rosa de los Vientos de Frecuencia (Izda) y de Velocidad (Dcha).....	12
Figura 2.5.1 Distribución de Costes en un Aerogenerador Usado.....	15
Figura 2.5.2 Distribución de Costes en un Aerogenerador Nuevo.....	15
Figura 3.1 Pantallazo explicativo del programa HOMER.....	17
Figura 4.2.1 Relación entre el Precio de la Energía y la Velocidad del Viento.....	24
Figura 4.2.2 Kwh Totales (Rojo) y Útiles (Azul) producidos a lo largo de un año para distintas velocidades medias de viento.....	25
Figura 4.2.3 Horas Equivalentes Totales (Rojo) y Útiles (Azul) producidos a lo largo de un año para distintas velocidades medias de viento.....	25
Figura 4.3.1 Variación de los Precios de los Aerogeneradores para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Grande).....	28
Figura 4.3.2 Variación de las características del Aerogenerador Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Grande).....	29
Figura 4.3.3 Variación de la Vida del Aerogenerador Nuevo y el Precio del Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Mediana) .....	30
Figura 4.3.4 Variación de las características del Aerogenerador Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Mediana).....	31
Figura 4.4.1 Variación de los Precios de los Aerogeneradores para determinar en qué situaciones es más beneficioso para el sistema implantar aerogeneradores de menor potencia (Granja Grande).....	32
Figura 4.6.1 Costes para distintas distancias del sistema con y sin extensión de red....	37



## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

La Unión Europea, Estados Unidos y los principales países desarrollados se han planteado la implantación de las energías renovables como principio básico para conseguir un desarrollo sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental (reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero de acuerdo con los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kioto). La idea de este proyecto es estudiar la implantación de las energías renovables realizadas por particulares prestando especial atención a su viabilidad económica.

### 1.1 Enfoque

El proyecto se enfoca en el estudio de dos industrias agropecuarias, una de ellas de tamaño grande (con un requerimiento eléctrico de 900.000 kwh anuales) y la otra de tamaño medio (con un consumo de 540.000 kwh por año). Las granjas se encuentran aisladas, sin posibilidad de conexión a la red eléctrica. En este tipo de situaciones, cuando la conexión a red es prácticamente inaccesible o ésta se encuentra muy alejada del punto de suministro la solución más utilizada es la colocación de grupos electrógenos diesel y gracias a ellos se cubren las necesidades energéticas.

El proyecto se encuadra en la industria ganadera aragonesa, un mercado representativo debido a que el número de explotaciones ganaderas en Aragón es elevado en relación al número de industrias agropecuarias que se encuentran en la mayoría de las comunidades españolas. Predomina sobre las demás, la porcina que ocupa el segundo lugar de ámbito nacional en explotaciones de cebo y el tercero en las de reproducción. En la *Tabla 1.1* (se encuentran más datos en el *Anexo A.1*) se detallan éstos y otros datos de interés referentes al sector ganadero en Aragón

	Censo 2010	Produc. Final Ganadera		% Aragón /España	Ranking España
		%	Mill. €		
Vacuno Ordeño(>12 meses)	12.032	1,70%	27,90	1,50%	10
	45.297	1,20%	19,70	2,10%	10
	180.560	18,80%	308,30	14,20%	2
	<b>TOTAL Bovino</b>	<b>237.889</b>	<b>21,70%</b>	<b>355,90</b>	<b>17,80%</b>
Ovino (>12meses)	1.703.077		0,00	11,70%	5
	35.000	7,30%	119,70	2,00%	7
<b>TOTAL Ovino Caprino</b>	<b>1.738.077</b>	<b>7,30%</b>	<b>119,70</b>	<b>13,70%</b>	
Porcino Reproducción / C.C	462.032			15,40%	3
	3.741.302	57,00%	934,80	21,10%	2
<b>TOTAL Porcino</b>	<b>4.203.334</b>	<b>57,00%</b>	<b>934,80</b>	<b>36,50%</b>	
Gallinas Ponedoras	4.130.000	3,10%	50,80	9,10%	4
	16.527.423	5,50%	90,20	8,20%	5
<b>TOTAL Gallinas y Broilers</b>	<b>20.657.423</b>	<b>8,60%</b>	<b>141,00</b>	<b>17,30%</b>	
Cunícolas	178.201	2,60%	42,60	19,40%	3

<b>TOTAL Cunícolas</b>	<b>178.201</b>	<b>2,60%</b>	<b>42,60</b>	<b>19,40%</b>	
Otras(Miel, Leche,...)		2,80%	45,90	3,70%	5
<b>TOTAL OTRAS</b>		<b>2,80%</b>	<b>45,90</b>	<b>3,70%</b>	

Tabla 1.1 Datos del Sector Ganadero en Aragón.

A la vista de los datos mostrados en la *Tabla 1.1* queda claro que el sector porcino es el más extendido en nuestra comunidad y su importancia a nivel nacional queda rubricada con tales números (representa un 36,50 % del total de la producción porcina en España). La avicultura (broilers y gallinas ponedoras) también ocupa una importante posición en lo que a producción se refiere, aunque debido al menor tamaño de las explotaciones el requerimiento energético es de un orden de magnitud inferior que el del sector porcino. El resto de sectores pueden ser clasificados como ganadería extensiva por lo que el aporte de energía fósil es prácticamente nulo (0,1 kilojulio o menos para obtener 1 kilojulio de alimento en la mesa del consumidor) ó sectores como el cúnícola que no requieren de una gran cantidad de energía eléctrica para su correcto funcionamiento ya que suelen ser explotaciones muy sencillas. Como consecuencia de estos datos el segmento de mercado más interesante para realizar el análisis es el porcino ya que además de ser el que más requerimientos energéticos precisa, es el más importante en lo que a producción se refiere (934,8 millones de euros). El análisis está fundamentado en los consumos eléctricos de dos granjas porcinas “tipo” (de madres y/o reproductiva) y el posterior estudio sobre la instalación.

## **1.2 Objetivos**

El objetivo principal del proyecto es realizar un análisis de los costes energéticos de una industria agropecuaria implantando un sistema híbrido eólico-diesel y ver en qué circunstancias se obtiene una inversión rentable. Con este estudio se conseguirá un sistema óptimo que estará formado por un número de grupos diesel y uno o varios aerogeneradores con la potencia adecuada para la situación analizada. Para la elección de las máquinas eólicas, se barajará la opción de que éstas sean nuevas o usadas y también se valorará si es preferible colocar un aerogenerador o dos de la mitad de potencia nominal. A partir del sistema óptimo se realizarán los siguientes análisis:

- Influencia de la velocidad del viento.
- Análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados.
- Análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo.
- Incorporación de Baterías.
- Extensión de la Red Eléctrica.

La integración del sistema híbrido se propone con el fin de abaratar el precio de la electricidad producida solamente mediante grupos diesel. El abastecimiento eléctrico realizado mediante grupos electrógenos diesel hace que el coste de la energía eléctrica sea muy elevado (más de 0,30 €/kwh), un coste muy superior al de la energía eólica (en un rango entre los 0,06 y los 0,11 €/kwh). La solución se conforma mediante un sistema que optimiza el consumo de diesel y da prioridad a la energía renovable frente al combustible fósil (no sólo por ser una energía limpia, sino porque, además, económicamente es mucho más interesante).

El proyecto busca reflejar situaciones ciertas, por ello la información plasmada en él está basada en datos reales. La información ha sido tratada con la intención de que se puedan extraer unas conclusiones que se puedan extrapolar al mayor número de casos posibles. En algunas partes, para obtener una información adecuada se ha consultado con especialistas del sector (como en los casos de energía eólica o de los grupos diesel).

### **1.3 Contenido y Estructura del Proyecto**

En la introducción, se presenta una breve descripción del proyecto, contextualizándolo, exponiendo los objetivos y explicando qué tipos de análisis se realizan a lo largo del proyecto.

En el capítulo de tratamiento de datos, se recoge cómo se ha tratado la información en lo referente a los consumos eléctricos de ambas granjas, la evolución del precio del gasóleo B, los grupos electrógenos diesel, el estudio del recurso eólico y los costes de implantación de la energía eólica.

En el capítulo 3, se presenta el programa “HOMER” que se ha utilizado como apoyo para resolver cuestiones planteadas en el proyecto. Este software se recomienda para realizar análisis económicos en los que aparezcan energías renovables.

En el capítulo 4, se recogen los análisis planteados en el proyecto y las conclusiones para cada uno de ellos. La primera cuestión consiste en encontrar el sistema óptimo para el caso base. A continuación se investiga acerca de la influencia que tiene la velocidad del viento en los costes energéticos del sistema óptimo. En las cuestiones tercera y cuarta se analiza cómo varía el diseño del sistema óptimo si se producen variaciones en los precios y vidas útiles de los aerogeneradores. La quinta cuestión trata el caso de la incorporación de baterías. En la sexta cuestión, la incógnita analizada es calcular hasta qué distancia es interesante extender la red eléctrica.

En el capítulo 5 se relatan las conclusiones obtenidas con los estudios realizados en el proyecto, mostrando especial atención a los resultados obtenidos en la cuarta parte.

En el capítulo 6 se dedica a los anexos, en ella, se encuentra información de interés relacionada con distintas partes del proyecto.

El último capítulo muestra las referencias que han sido consultadas para realizar el proyecto.

## **Capítulo 2 TRATAMIENTO DE DATOS**

Después de la introducción en la que se ha contextualizado el tema a tratar, explicado los objetivos, expuesto los análisis a realizar, nombrado los datos en los que se basa el proyecto, en este capítulo se explica con mayor detalle cómo se han tratado los datos necesarios para realizar los distintos análisis, cumpliendo los objetivos planteados en la introducción.

Los datos se dividen en los grupos que se enumeran a continuación:

- Consumos Eléctricos.
- Evolución del Precio del Gasóleo B.
- Grupos Electrógenos Diesel.
- Estudio del Recurso Eólico.
- Costes de Instalación de la Energía Eólica.

En las páginas siguientes de este capítulo se expone cómo han sido tratados los distintos grupos de información enunciada arriba.

## **2.1 Consumos Eléctricos**

Los consumos eléctricos utilizados para realizar los análisis y simulaciones pertinentes a lo largo de éstas páginas pertenecen a dos granjas diferentes.

- Una de ellas está situada en el término municipal de Ejea de los Caballeros. Es de gran tamaño, pues está conformada por 5.000 madres reproductoras y un requerimiento eléctrico de unos 900.000 kwh/año.

- La segunda granja analizada, sita en Quinto de Ebro es de tamaño menor que la anterior, se podría considerar de tamaño medio ya que cuenta con 2.400 madres y un consumo aproximado de 540.000 kwh/año.

El estudio se basa fundamentalmente en las ya mencionadas instalaciones y no se hace un análisis profundo sobre granjas pequeñas ya que la importancia de la inversión hace inviable la instalación de la energía eólica para un requerimiento eléctrico de tan pequeña potencia. El precio por kilovatio instalado de los aerogeneradores, es mayor cuanto menor es la potencia del aerogenerador a instalar.

Los datos sobre consumos se han obtenido mediante el análisis de los últimos períodos facturados en cada una de las granjas (en el *Anexo A.2* se pueden observar con mayor claridad) y en los casos en los que no ha sido posible obtenerlos se ha efectuado una recta de regresión, estableciendo una relación entre el consumo eléctrico en ambas granjas. Es importante apuntar que la granja “grande” dispone de energía eléctrica proveniente de la red, mientras que la granja “medianas” disponía de grupos diesel para su abastecimiento eléctrico, aunque desde hace algunos meses ya dispone de red. Las dos granjas se utilizan como “granjas tipo”, es decir, de ellas sólo se utilizan sus consumos eléctricos para realizar los análisis a lo largo del proyecto.

Con el objetivo de realizar una mejor representación de la realidad, se han dividido los consumos eléctricos en las distintas horas del día en punta, llano y valle, como se muestran en la *Tabla 2.1.1*, diferenciando entre los períodos de invierno y verano. Es importante separar los consumos eléctricos en las distintas horas del día para tener una información más exacta de los requerimientos eléctricos cada hora, en cada una de las granjas.

	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>P1:Punta</b>	10-16	17-23
<b>P2:Llano</b>	8-10 y 16-24	8-17 y 23-00
<b>P3:Valle</b>	0-8	0-8

Tabla 2.1.1 Discriminación Horaria.

Después de explicar como se ha tratado la información referente a los requerimientos eléctricos de las industrias a estudiar se pasa a mostrar un resumen de los consumos que se producen mes a mes en cada una de las “granjas tipo” en un año cualquiera.

En el *Figura 2.1.1* se observan los consumos referentes a la granja “Grande” mientras que un poco más abajo en el *Figura 2.1.2* se encuentran los de la granja “medianas”.

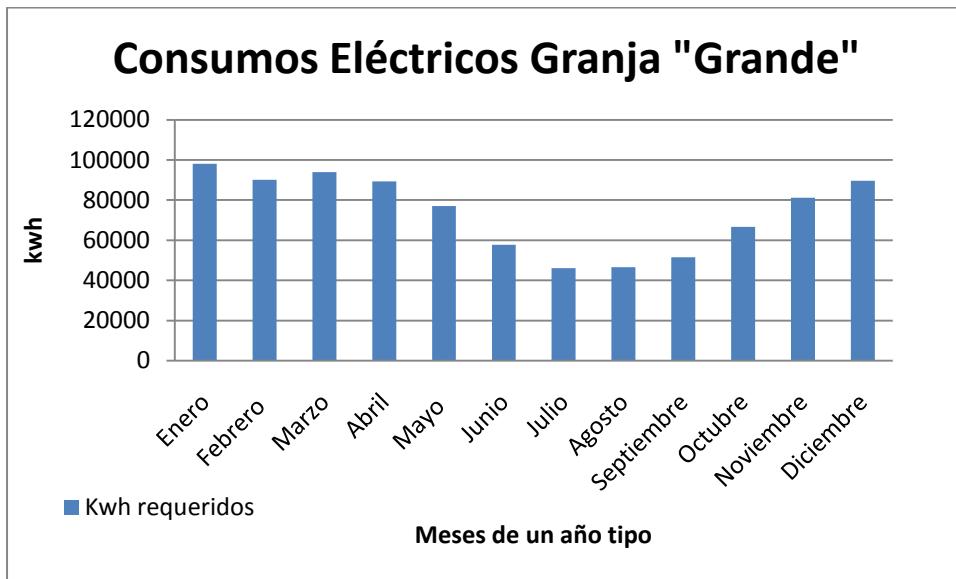


Figura 2.1.1 Consumos Eléctricos de un año tipo para la Granja Grande.

Contemplando la gráfica de consumo de la granja “grande” se observa que en los meses estivales la demanda eléctrica es menor que en los meses más fríos, esto es, porque las madres reproductoras y especialmente sus crías deben estar a una temperatura adecuada para asegurar su bienestar y, ésta se encuentra más alejada de las temperaturas habituales que se producen en invierno que de las que se encuentran en verano. En invierno, el mayor consumo viene determinado por la calefacción mientras que en verano la mayor parte del consumo está destinado a la ventilación de la granja. La cantidad de kwh requerida al cabo de un año tipo es próxima a los 900.000 kwh.

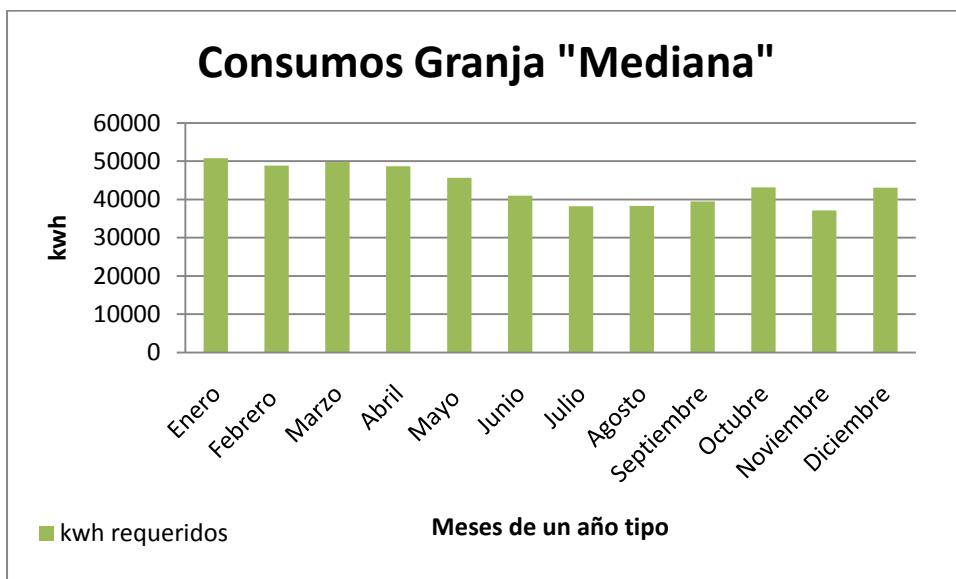


Figura 2.1.2 Consumos Eléctricos de un año tipo para la Granja Mediana.

En este caso también se observa una disminución de demanda en los meses centrales del año mientras que aumenta en los meses en los que las temperaturas son más bajas (a excepción de Noviembre). En este caso el requerimiento eléctrico anual es de 540.000 kwh aproximadamente.

## 2.2 Evolución del Precio del Gasóleo B

Las recientes investigaciones acerca del futuro de los combustibles fósiles evidencian que la producción de petróleo convencional está teniendo ya una capacidad progresivamente limitada como para satisfacer su demanda y la de sus derivados, ya que disminuye la capacidad de extracción debido a que las condiciones son más severas (grandes profundidades en alta mar) y la tecnología de extracción es muchísimo más cara. Las consecuencias de lo anterior se acaban reflejando en su precio (y en el de sus derivados, como el gasóleo B), que se va encareciendo progresivamente con el paso de los años, como muestra la *Figura 2.2.1 Evolución del Precio del Gasóleo B*.

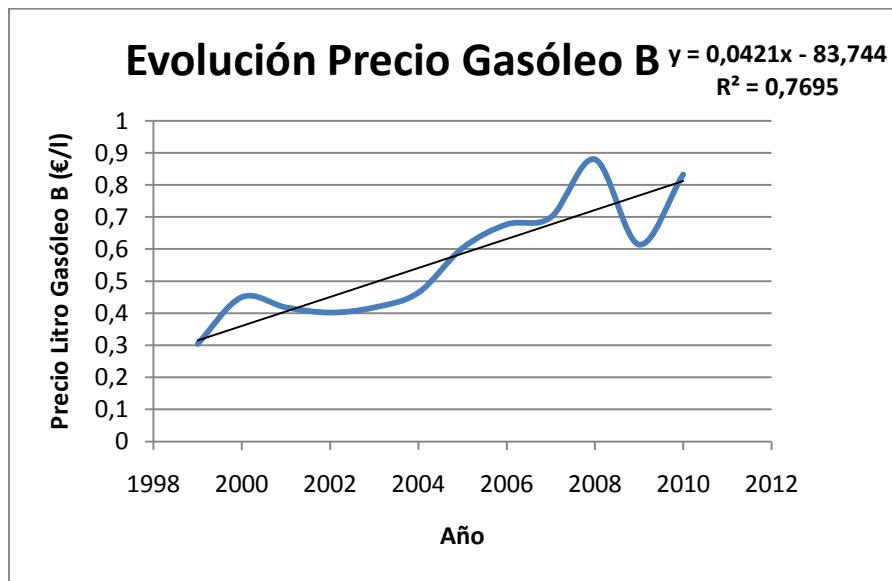


Figura 2.2.1 Evolución del Precio del Gasóleo B.

Estos datos, justifican más si cabe la implantación de la energía eólica en detrimento de un combustible fósil como el gasóleo B, ya que cuanto mayor sea el precio del diesel, mayor ahorro se produce con la implantación de energía eólica en la industria agropecuaria analizada.

## **2.3 Grupos Electrógenos Diesel**

Una de las utilidades más comunes de los grupos electrógenos es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas como ocurre en las instalaciones analizadas a lo largo del proyecto.

Este apartado, se centra en comentar los aspectos de los grupos electrógenos diesel más influyentes para el proyecto:

- Horas de funcionamiento. La vida de un grupo diesel se mide por las horas que funciona antes de que se produzca una avería que sea lo suficiente importante como para realizar una inversión con un valor superior al 80% del de su adquisición o reemplazarlo por otro. El rango de horas de vida depende de distintas variables: medio en el que se encuentre, tipo de refrigeración, formas de uso,... Distintos profesionales del sector coincidieron en afirmar que un grupo electrógeno tiene una vida media de unas 25.000 horas pudiendo alargarse o reducirse en función del tratamiento recibido durante su uso.

- Costes de operación y mantenimiento. Éstos, se reducen prácticamente a los cambios de aceite después de un número de horas determinado. Algunos fabricantes recomiendan que se haga cada 250 horas mientras que otros aconsejan que sea cada 500. Sin importar, cada cuantas horas se haga el mantenimiento el coste por hora de funcionamiento ronda los 0,5 €/hr. El mantenimiento influye decisivamente en la vida útil del grupo ya que tiene funciones tan importantes como disminuir la fricción, la temperatura y limpiarlo.

- Elección del tamaño y distribución de los grupos electrógenos diesel. Con la finalidad de encontrar un sistema óptimo, es importante tener en cuenta que el grupo diesel debe trabajar entre el 60% y el 75% de su carga máxima admisible. Además, es importante valorar el número de grupos a colocar ya que habrá que ser precavido pensando en las averías que se puedan producir y en el mantenimiento, ya que la granja en ningún momento puede quedar desabastecida eléctricamente. Por ello, se recomienda instalar una cantidad de potencia que se acerque al doble de la requerida en los momentos de máxima actividad de la granja. En un primer análisis, se puede pensar en la implantación de grupos de distintas potencias, pero haciendo un análisis más exhaustivo se observa que lo más rentable es poner varios grupos de la misma potencia nominal y que la suma de las potencias nominales de éstos sea suficiente para cubrir los requerimientos eléctricos de la industria en cualquier momento (teniendo en cuenta las posibles averías y el mantenimiento). Esta solución es más costosa que si sólo se implantase una cantidad de kw próxima al pico de consumo de la granja, pero como ya se ha mencionado, en el caso de una industria agropecuaria no nos podemos arriesgar a dejarla sin suministro eléctrico. Un aspecto a tener en cuenta al trabajar en paralelo con aerogeneradores es el concepto de estabilidad. Cobra gran importancia en esta parte porque la capacidad de los grupos diesel tiene que ir ligada a la potencia nominal de la

energía eólica instalada ya que en ningún momento ésta última puede sobrepasar el 75% de la de los grupos diesel (así se indicó desde la dirección del proyecto).

- Precio. Un aspecto muy a tener en cuenta es el precio de los grupos que se van a instalar, porque éstos serán utilizados a lo largo del proyecto para realizar los cálculos y obtener las conclusiones pertinentes. Debido a la importancia que tienen, están basados en el mercado actual y han sido facilitados por proveedores especializados en el sector. En el *Figura 2.3.1* se muestra la evolución del precio por kw para un amplio rango de potencias.

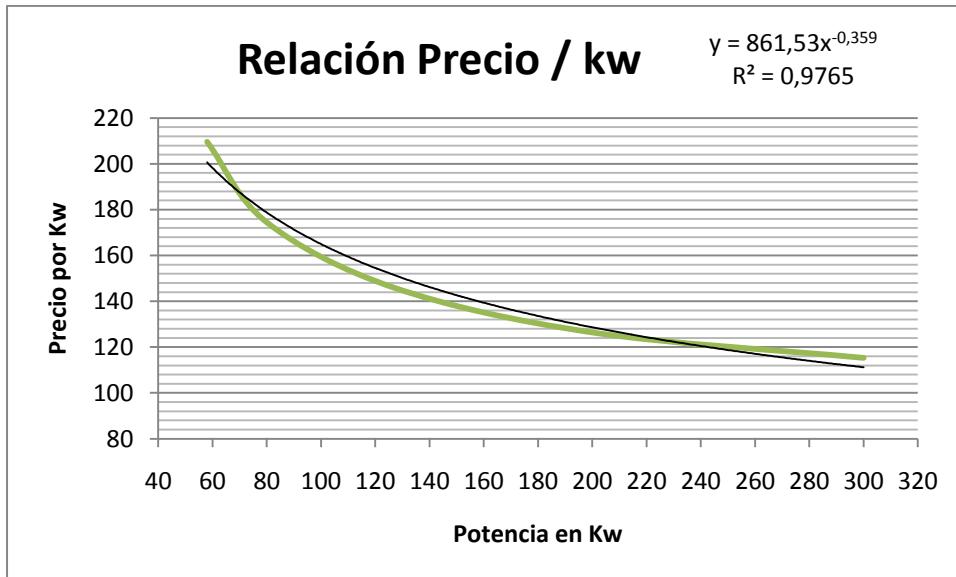


Figura 2.3.1 Relación Precio por Kw en Grupos Electrógenos Diesel.

Gracias a esta representación se pueden aproximar los precios para grupos diesel de muy diversas potencias nominales. Se observa que el índice de correlación ( $R^2$ ) está muy próximo a 1 lo que indica que el grado de ajuste de los datos a la regresión es casi perfecto, con lo que las aproximaciones de precios obtenidos mediante la ecuación de regresión serán prácticamente iguales a los precios ofertados en el mercado.

## **2.4 Estudio del Recurso Eólico**

Un análisis de la velocidad del viento en el lugar donde se situarán los aerogeneradores resulta útil para poder estimar la aportación que realizará la energía eólica a los requerimientos eléctricos de la granja analizada. Ha sido imposible obtener datos de un estudio que corresponda con el lugar exacto en el que se encuentran las industrias analizadas. Lo ideal sería la instalación de una torre anemométrica en el lugar en cuestión para que ésta captase los parámetros del viento relevantes para la energía eólica (factor de Weibull, velocidad del viento, coeficiente de correlación,...) en intervalos diezminutales a lo largo de al menos un año. Por ello, los datos utilizados referidos a la velocidad del viento sirven como una aproximación ya que provienen de la estación meteorológica sita en el aeropuerto de Zaragoza. A continuación en la *Figura 2.4.1* se observa la velocidad media mensual del viento en los últimos diez años.

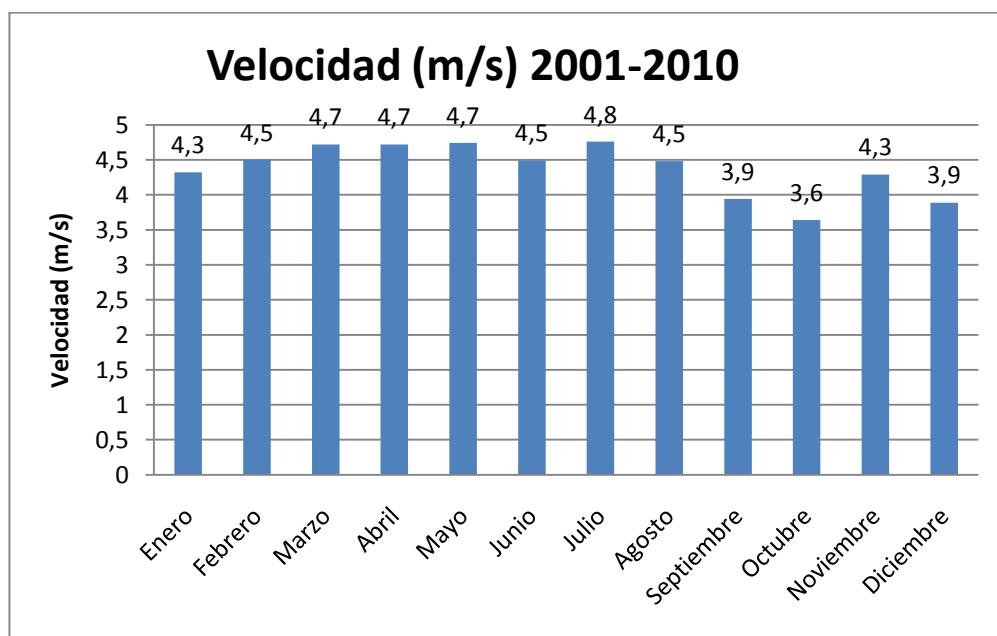


Figura 2.4.1 Velocidad Media del Viento en los últimos 10 años.

Los datos de la *Figura 2.4.1* son facilitados por la asociación estatal de meteorología (aemet). El valor de la velocidad media en los últimos diez años que se desprende de la ilustración anterior es de 4,37 m/s, unos 15,7 km/h.

En la *Figura 2.4.2* se muestran los porcentajes en los que el viento ha soplado en cada rango de velocidades. La distribución que mejor se ajusta a la medición del recurso eólico es una Weibull. Algunos de sus parámetros más relevantes como el factor de forma *k* y la media se marcan en la ilustración que se muestra a continuación. Con unos valores de 1,416 y 15,716 km/h respectivamente.

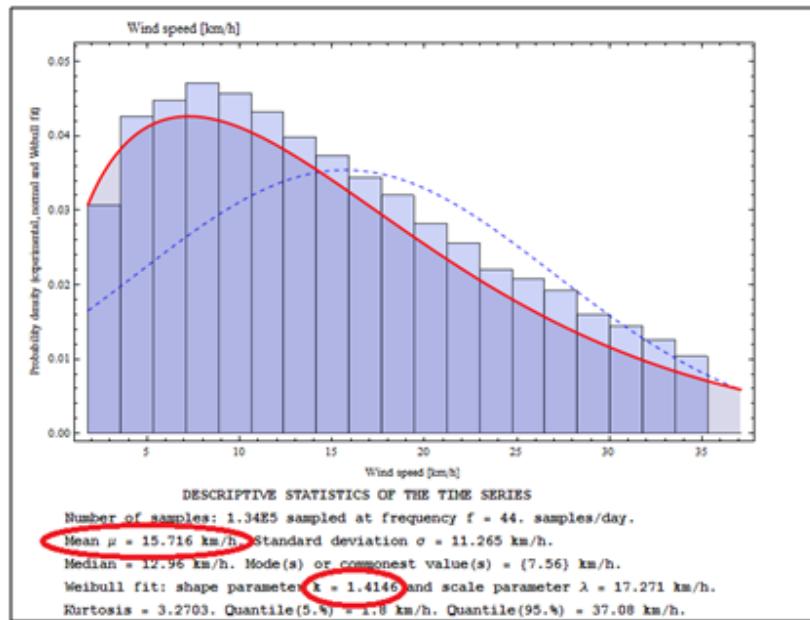


Figura 2.4.2 Parámetros de la Velocidad del Viento.

Con el fin de asegurar la convergencia de los datos con la realidad, se ha realizado la comparación entre las gráficas anteriores y ambas arrojan un resultado similar en lo que a la velocidad media mensual de los últimos diez años se refiere, pese a pertenecer a fuentes distintas. Con el objetivo de subsanar errores que puedan producirse como consecuencia de la imperfección de las mediciones realizadas, en el apartado 4.2 se realiza un estudio sobre la influencia de la velocidad media del viento en parámetros como el precio de la energía producida por los aerogeneradores o el número de kwh que producen los aerogeneradores de las dos granjas.

A la hora de elegir un correcto emplazamiento para la implantación de la energía eólica tan importante es tener en cuenta la velocidad del viento como su dirección. Por ello, una herramienta provechosa es la rosa de los vientos que representa la frecuencia de ocurrencia de los vientos en 16 sectores de dirección (E, ENE, NE, NNE, W, WNW, NW, NNW, ESE, SE, SSE, S, SSW, N, WSW, SW). En la *Figura 4.2.3* se observan las rosas (de frecuencia y de velocidad) pertenecientes a la estación meteorológica del aeropuerto de Zaragoza, que sirven como aproximación para los casos estudiados.

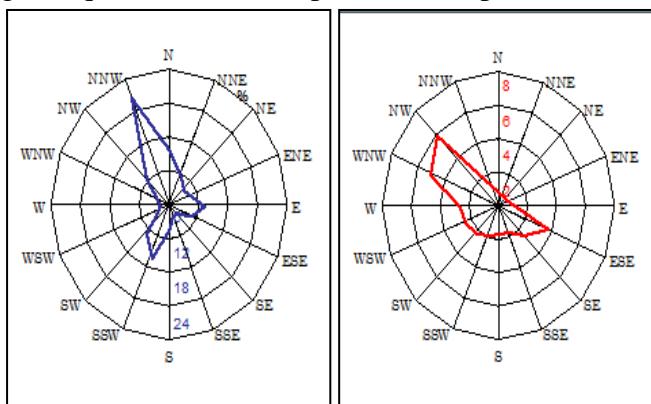


Figura 2.4.3 Rosa de los Vientos de Frecuencia (Izda) y de Velocidad (Dcha).

Según muestra la rosa de los vientos (azul), la dirección que predomina sobre todas las demás es la NNW con una frecuencia de más de un 20%. Se observa que según su dirección el viento sopla con más velocidad cuando el flujo pertenece al cuadrante entre el norte y el oeste. Esto es debido a la aparición del cierzo que se presenta con una velocidad superior a los 20 km/h (unos 6 m/s) durante todo el año. En el resto de direcciones no se suelen sobrepasar los 15 km/h (alrededor de los 4 m/s).

## **2.5 Costes de instalación de la energía eólica**

La generación mediante formas de energía que utilicen combustibles fósiles, causan efectos negativos en el entorno (agrandamiento de la capa de ozono, la lluvia ácida, el efecto invernadero,...), son recursos finitos y además sólo están disponibles en un número determinado de países. Mientras que las energías renovables no ocasionan efectos perjudiciales para el ambiente, son interminables y además son autóctonas disminuyendo nuestra dependencia de suministros externos (lo que para España y también para Europa es enormemente positivo ya que somos muy deficitarios en fuentes de energía convencionales).

Particularmente, la energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles. Es una de las fuentes de energía más baratas, ya que puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato). Es importante resaltar el punto anterior ya que el factor más relevante para el desarrollo de cualquier tipo de tecnología es la rentabilidad, por encima incluso de los factores medioambientales. El hecho de ser capaz de generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone un procedimiento muy favorable por ser limpio ya que por cada Kwh de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón se evitan 0,60 Kg de CO<sub>2</sub>, 1,33 gr de SO<sub>2</sub> y 1,67 gr. de NOx. La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras, sobre todo en este tipo particular de inversión donde el número de aerogeneradores es reducido (1 ó 2) y siempre en zonas habitadas del medio rural.

Las herramientas necesarias para conseguir lo redactado anteriormente son los aerogeneradores. En el proyecto se valorará la posibilidad de la utilización de aerogeneradores usados o nuevos. Como no podía ser de otra manera, se valorarán aspectos tales como la variación de precio (de mercado), la potencia óptima o el tiempo de vida útil (en años) de ambos tipos de generadores.

A continuación, se muestra un breve resumen de los costes asociados a la implantación de la energía eólica (el número óptimo de aerogeneradores a instalar será calculado mediante el software HOMER) en las industrias analizadas durante el proyecto. La instalación de un aerogenerador conlleva inversión en muchos aspectos, entre ellos, los que tienen mayor representación son: precio del aerogenerador, transporte, montaje, virola, obra civil, obra eléctrica, seguridad, puesta en marcha,... Como consecuencia de la importancia de la inversión, es muy habitual que para financiarla se requiera de un préstamo. El importe concedido, el tipo de interés y el plazo de amortización se han ajustado a las condiciones actuales del mercado financiero.

La representatividad de los costes asociados a la implantación de los aerogeneradores se muestran a continuación. Se ha valorado que éstos puedan ser nuevos o usados. Los gráficos siguientes están referidos a un aerogenerador de 335 kw de potencia nominal, para que la comparación entre el nuevo y el usado tenga validez. La confrontación de los distintos tipos comienza con el aerogenerador usado en la *Figura 2.5.1*.

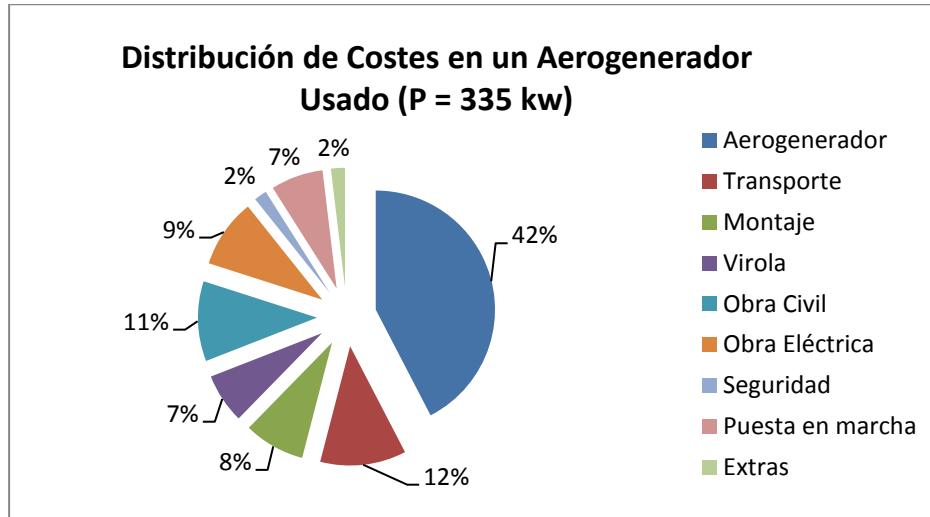


Figura 2.5.1 Distribución de Costes en un Aerogenerador Usado.

De la *Figura 2.5.1* destaca el porcentaje correspondiente al precio del aerogenerador (42% del total), es la parte más importante de la inversión, muy por encima del coste la obra civil ó la obra eléctrica que rondan el 10%. El precio estimado por kw instalado es de 584 € incluyendo todos los costes asociados a la implantación del aerogenerador.

Es interesante contemplar cómo se reparten los mismos tipos de costes anteriores pero ahora en el aerogenerador nuevo (*Figura 2.5.2*). Los precios de los aerogenerador nuevos han sido facilitados por cortesía de la empresa aragonesa Ades.

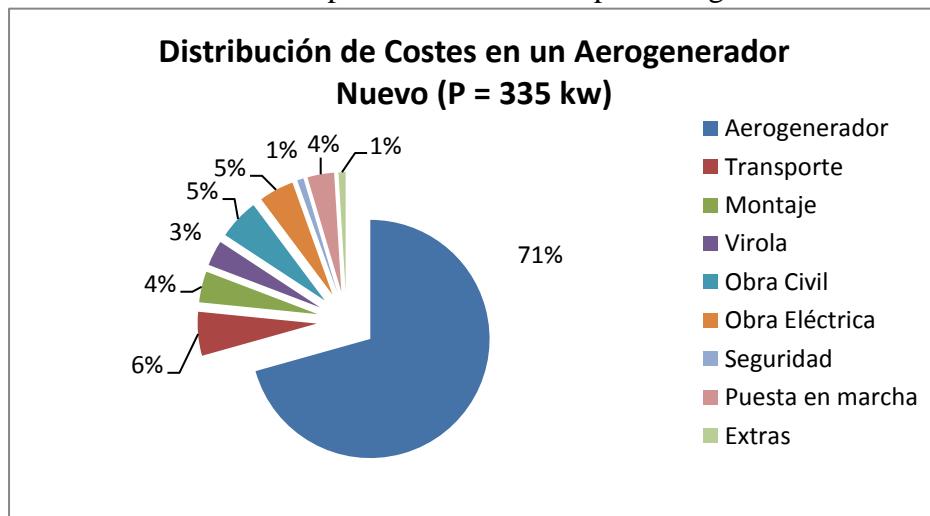


Figura 2.5.2 Distribución de Costes en un Aerogenerador Nuevo.

Al igual que ocurría en el caso del aerogenerador de segunda mano, la partida más importante de la inversión pertenece al precio de adquisición del aerogenerador, aunque en este caso, representa un valor del 71% sobre el total, muy superior al 42% que representaba en el caso del aerogenerador usado. El precio por kw instalado si el aerogenerador es nuevo asciende a 1.088 €, mucho más elevado que los 584 € que se presenta en el caso de que éste fuese usado. Por el contrario, en lo que se refiere a la vida útil, el nuevo tiene unas prestaciones mucho más ventajosas respecto a la vida útil del aparato (25 años frente a 12).

Con la ayuda del software Homer se determina qué opción es más rentable a lo largo del período analizado (25 años), además de decidir acerca de la potencia de los aerogeneradores y el número de éstos que deben ser colocados. Con el número de años estimados para el estudio no será necesario reponer la máquina en caso de que se instale una nueva, ya que se estima que su vida útil llegará al total de años analizados, mientras que si la opción elegida es el usado el coste de reemplazamiento será relevante. Para aproximar este coste he decidido suponer que el precio del aerogenerador a reemplazar será similar al que ya estaba instalado, ya que prácticamente nada de lo instalado servirá. Otra opción, más rentable pero mucho más arriesgada es la de repotenciar el aerogenerador cuya vida útil ha terminado aunque, como ya se ha mencionado no es muy recomendable realizar tal aproximación ya que debido a la obsolescencia del aerogenerador es muy probable que no haya repuestos para algunas de las piezas requeridas para el ya nombrado reemplazamiento.

### Capítulo 3 PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE HOMER

Se utilizará una herramienta informática para estudiar las cuestiones a resolver en este proyecto. El software utilizado es HOMER. Está especialmente recomendado para modelar sistemas energéticos (especialmente con fuentes de energías renovables) y realizar análisis de sensibilidad. En la *Figura 3.1* se puede observar la composición del sistema híbrido y algunas de las características más importantes de HOMER.

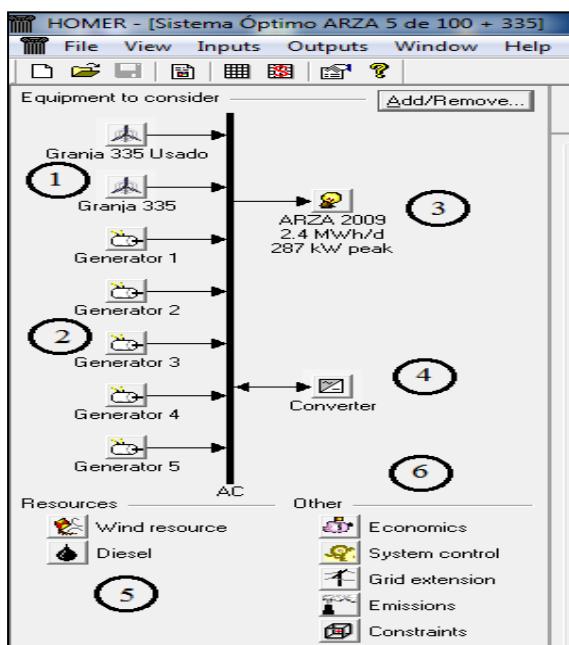


Figura 3.1 Pantallazo explicativo del programa HOMER.

A continuación, se explica a qué corresponden cada una de las partes marcadas en la figura mediante un número.

- El número uno, incluye la parte reservada para la implantación de los aerogeneradores. Hay dos iconos porque en el caso mostrado se compara qué alternativa es mejor (aerogenerador nuevo ó de segunda mano).
- El grupo dos se corresponde con los grupos electrógenos diesel. El hecho de aparezcan tres porciones separadas es porque buscando optimizar su composición se han analizado grupos de diferentes potencias nominales.
- El tercer círculo representa la demanda de electricidad durante un año tipo de la granja analizada.
- Para que el sistema híbrido eólico – diesel funcione tiene que haber un sistema de control (número cuatro).
- El quinto círculo engloba los recursos que son necesarios para que funcionen los aerogeneradores (datos relativos al viento) y los grupos electrógenos (diesel).

- En el sexto círculo se incluyen datos económicos, distintas estrategias de control ó precio asociados a la extensión de la red eléctrica.

## **Capítulo 4 ANÁLISIS Y RESULTADOS**

Como ya se ha mencionado en la Introducción, el objetivo principal del proyecto es analizar si la implantación de la energía eólica en granjas porcinas (que se encuentran aisladas de la red eléctrica) resulta beneficiosa desde un punto de vista técnico y económico. Para cumplirlo, se ha calculado el sistema óptimo para el caso base y a partir de éste, se han planteado distintos análisis para ver cómo evoluciona. En tales análisis se han establecido distintos escenarios mediante variaciones de algunos parámetros como: los precios de los aerogeneradores, la vida útil, la velocidad del viento...

A continuación, se enumeran los casos en los que se ha realizado un análisis detallado:

- Sistema Óptimo (caso base).
- Influencia de la velocidad del viento.
- Análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados.
- Análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo.
- Incorporación de Baterías.
- Extensión de la Red Eléctrica.

## **4.1 Sistema Óptimo**

En este parte, se mostrará cómo se ha calculado y cuál es el sistema óptimo para las dos granjas estudiadas, viendo así, si es interesante la implantación de la energía eólica. Éste será el caso base del proyecto, a partir del cual se realizarán otros estudios (han sido nombrados al inicio del *capítulo 4*). Para calcularlo, las siguientes cuestiones tienen que ser respondidas:

- ¿Cuál es la mejor organización para los grupos electrógenos diesel?
- ¿De qué potencia nominal es necesario que sea/n el/los aerogenerador/es a instalar para optimizar el sistema?
- Es más rentable que los aerogeneradores sean, ¿nuevos o usados?
- ¿Es más rentable instalar un aerogenerador o es mejor colocar dos aerogeneradores de la mitad de potencia nominal?

Ansiedad conseguir una buena estimación adaptada al momento en que nos encontramos, se han asumido una serie de suposiciones que se detallan a continuación:

- Como consecuencia del elevado precio de los aerogeneradores es razonable pedir un préstamo para financiar una inversión de una cuantía tan elevada. No hay que olvidar que el sistema a implantar está enfocado en el ámbito de las industrias agropecuarias, por lo que es harto complicado que el inversor (propietario/a) disponga del dinero suficiente como para afrontar sin ayuda del préstamo el montante de dinero necesario. Unas condiciones “lógicas” para el préstamo que se ajustan a la situación actual son:

- Tipo de interés de un 6 %.
- Plazo de amortización de 8 años.
- La parte a financiar es un 70% del total de la operación.

- El período de vida de los aerogeneradores juega un papel importante en este análisis. Por ello, esta estimación se ha realizado contactando con un distribuidor especializado (empresa aragonesa ADES) para el caso del aerogenerador nuevo y para el aerogenerador usado se han utilizado los datos que acarreó la instalación de un aerogenerador usado en el término municipal de Ejea de los Caballeros. Con ello, los años de vida para un aerogenerador nuevo se estiman en 25, mientras para el caso del aerogenerador de segunda mano su vida esperada será de 12 años.

- Al igual que ocurría con los aerogeneradores, en los grupos diesel un factor relevante es determinar el número de horas de funcionamiento que soportará un grupo electrógeno diesel. Se ha decidido que aproximadamente este valor sea de 25.000 horas, ya que así lo aconsejaron diversos proveedores del sector.

- La tasa de descuento utilizada durante el proyecto será del 3%. Con ella se realizarán las actualizaciones de los precios de los distintos componentes (reemplazamiento de aerogeneradores, de grupos electrógenos diesel,...).

Después de exponer las suposiciones anteriores, se pasa a responder las preguntas planteadas en la parte de arriba de esta página.

En primer lugar, se responderán las cuestiones para la granja grande (ARZA) y posteriormente, se procederá de forma análoga con la granja mediana (QUINTO).

### **Granja Grande (ARZA)**

- Para responder a la primera pregunta se debe tener en cuenta que el suministro eléctrico de la granja es crucial para el buen desarrollo de ésta ya que una interrupción de éste tendría unas consecuencias fatales para los animales. Por ello, es importante tener grupos de emergencia que cubran las necesidades de la granja en caso de que alguno de los que se utilizan habitualmente falle. Con lo que pese a que el pico de consumo de la granja es de 287 kw, se optó por colocar una potencia cercana a los 500 kw para asegurar que el suministro no se verá afectado ni por averías ni por la labores de mantenimiento de los grupos. Es aconsejable para este tipo de instalaciones que todos los grupos sean de la misma potencia nominal para que cuando alguno de los que se está usando tenga algún problema o se le realice el mantenimiento pertinente entre en funcionamiento sin que el sistema lo note. Finalmente y después de muchas simulaciones en Homer se consiguió la configuración óptima para los grupos electrógenos diesel. Está compuesta por 5 grupos electrógenos de 100 kw (125 KVA), por delante de composiciones de 4 grupos de 127 kw (159 KVA) o de 6 grupos de 100 (KVA). La opción elegida presenta un VAN menor (hay que tener en cuenta que como lo que se mide son costes, todos los VAN calculados son negativos, por lo tanto, cuanto menor sea el VAN mejor será esta solución) que el resto de las opciones, además de que el coste de la energía es también el menor, 0,289 €/kwh.

- Con respecto a la potencia nominal óptima que debe tener el/los aerogenerador/es a instalar la conclusión es que debe tener una potencia nominal de 335 kw. Esta opción es la mejor entre todas las barajadas ya que el precio de producción de la electricidad es el menor. Esta respuesta cumple con el concepto de estabilidad que es necesario tener en cuenta en este tipo de sistemas híbridos. Esto es, el aerogenerador no puede tener una potencia nominal superior al 75% (fijado este dato de acuerdo con el director del proyecto) de la nominal de los grupos electrógenos diesel, con lo que el aerogenerador elegido está dentro del rango.

- Con el fin de contestar a la tercera pregunta, se han conseguido precios de mercado de aerogeneradores, tanto nuevos como de segunda mano, gracias a los cuales se han extraído las conclusiones que se muestran a continuación. La respuesta para esta parte está basada en el coste de la energía útil para las dos opciones:

- 
- Aerogenerador Usado de 335 kw: 0,0665 €/kwh.
  - Aerogenerador Nuevo de 335 kw: 0,0862 €/kwh.

Observando los datos de arriba, la mejor solución es implantar aerogenerador/es usado/s, ya que el coste de producir energía es menor, además el desembolso inicial es mucho menor que en el caso del aerogenerador nuevo, 195.492 € frente a los 364.428 €.

- En esta pregunta el propósito es determinar el número óptimo de aerogeneradores a instalar para cubrir la demanda eléctrica de la granja, si es mejor instalar uno que cubra las necesidades de la granja o dos de inferior potencia. Los costes asociados a la generación eléctrica de cada aerogenerador se muestran a continuación:

- Aerogenerador Usado de 335 kw: 0,0665 €/kwh.
- 2 aerogeneradores Usados de 184 kw: 0,117 €/kwh.

La respuesta, es clara. La mejor opción es la implantación de un aerogenerador frente a la colocación de dos aerogeneradores de la “mitad” de potencia nominal. En el *apartado 4.4* se realiza un análisis de sensibilidad donde se muestra en qué situaciones es preferible la instalación de dos aerogeneradores.

A la vista de los resultados obtenidos, la implantación de la energía eólica en la granja grande (ARZA) es altamente satisfactoria ya que se produce una ahorro de más de un 22 % por cada kwh que consume la granja. Esta gran diferencia se da porque el coste que tiene producir un kwh mediante un grupo diesel es de 0,289 €/kwh mientras que al aerogenerador sólo le cuesta 0,0665 €/kwh, esto es más de 4 veces menos que con el grupo diesel, lo que repercute muy positivamente en los costes del sistema. El único problema que se observa con la incorporación de la energía eólica es su elevado coste de inversión (328.487€ frente a los 132.995€ del sistema compuesto únicamente por grupos diesel), aunque con el gran ahorro que supone en los costes de la electricidad, se presenta como una opción muy interesante para el granjero.

### **Granja Mediana (QUINTO)**

- Como se ha comentado en el caso de la granja grande es recomendable que todos los grupos diesel tengan la misma potencia nominal. El consumo de la granja aquí analizada, es menor que la granja analizada antes por lo que la potencia a instalar (su pico de potencia es 190 kw) será considerablemente menor. El sistema óptimo quedará conformado por 5 grupos electrógenos, aunque en este caso la potencia nominal de cada uno de ellos, será menor que en el caso anterior. Serán de 80 kw (100 KVA). Esta composición, es la más rentable de todas las que se plantearon. Superó a todas ellas obteniendo los mejores resultados tanto si nos referimos al VAN (2.469.258 €), a la inversión inicial (101.991 €) o al coste de la energía (0,300 €/kwh).

- En lo que se refiere a la potencia nominal a instalar en la granja mediana mediante energía eólica, el resultado óptimo se ha conseguido para un valor de 300 kw, ya que comparando con otras potencias, éste ofrece un coste energético menor.

- Para tratar de justificar qué tipo de aerogenerador (nuevo o usado) es mejor instalar, se compara el coste que tiene producir un kwh en cada uno de los dos tipos. Los resultados que arroja el estudio son:

- Aerogenerador Usado de 300 kw: 0,113 €/kwh.
- Aerogenerador Nuevo de 300 kw: 0,144 €/kwh.

La conclusión que se desprende observando los datos referentes al coste de la producción es, que la mejor opción es instalar un aerogenerador usado. Además, el precio del aerogenerador usado es muy inferior al nuevo, con lo que la inversión inicial será inferior y el esfuerzo a realizar por el inversor también será inferior.

- Para llegar a una conclusión acerca de qué opción es más beneficiosa para la granja se muestran los datos correspondientes a los costes de producción de electricidad de aerogeneradores con distinta potencia nominal:

- Aerogenerador Usado de 300 kw: 0,113 €/kwh.
- 2 aerogeneradores Usados de 152 kw: 0,206 €/kwh.

Queda claro comparando el coste de la energía por kwh producido, que uno de 300 kw cumple mejor las expectativas del granjero, que no son otras que conseguir un mayor ahorro energético.

Haciendo números, se observa rápidamente que la incorporación de la energía eólica en la granja es muy beneficiosa ya que se producen ahorros muy considerables. Por ejemplo, el kwh pasa de costar 0,3 € si sólo dispone de grupos diesel a 0,253 € con el apoyo de la energía eólica, esto supone un ahorro del 15,7%. Una cantidad nada desdenable con la gran cantidad energía que se demanda a lo largo del año. El mayor inconveniente que se encuentra, es que requiere de una inversión importante y que no sería apta si no obtuviesen beneficios de este calibre.

## **4.2 Influencia de la Velocidad del Viento**

Debido a que no ha sido posible realizar una medición de la velocidad en los lugares exactos donde se encontrarían las granjas analizadas, es útil, observar qué influencia tiene la velocidad del viento en algunos parámetros del sistema. Se tratan aspectos tales como la evolución del coste de la energía producida por el sistema, la cantidad de kwh producidos por el aerogenerador, las horas equivalentes que los aerogeneradores han estado trabajando,...

En primer lugar, se muestra en la *Figura 4.2.1* cómo evoluciona el COE (coste de la energía) en la granja grande (ARZA) si hay variaciones en la velocidad media del viento. El método seguido para realizar las gráficas se encuentra en el *Anexo A7 Influencia de la velocidad del viento*.

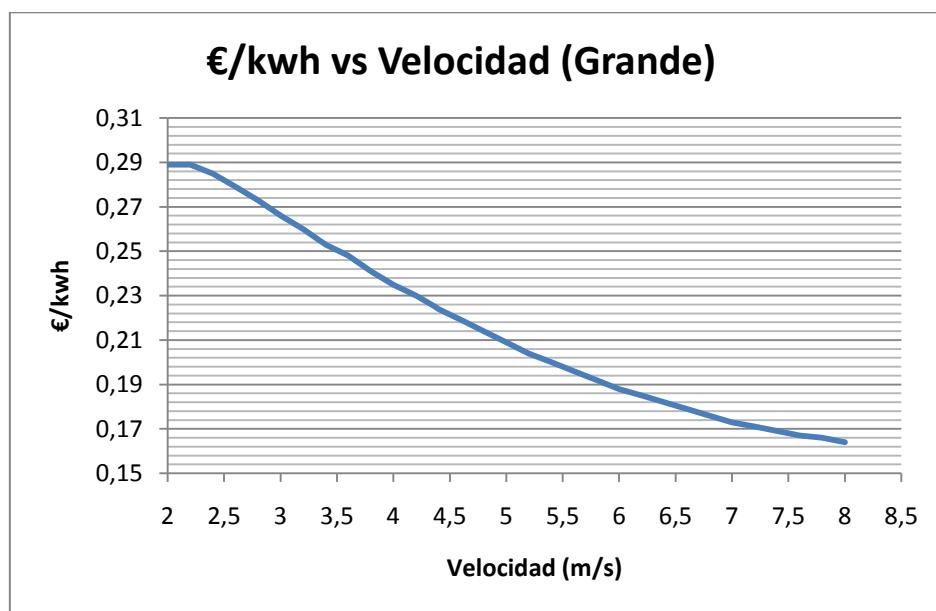


Figura 4.2.1 Relación entre el Precio de la Energía y la Velocidad del Viento.

De la gráfica se deduce, que cuanto más elevada es la velocidad del viento más se reduce el COE. Aunque se adivina que cuando las velocidades son muy elevadas (más de 8 m/s), el precio de la energía tiende a estabilizarse en un valor próximo a 0,15 €/kwh. Del gráfico correspondiente a la granja mediana (Quinto) se extraen conclusiones que son muy semejantes a las del gráfico que se muestra arriba, aunque en aquél, el precio de la energía comienza a estabilizarse a los 0,17 €/kwh.

En la *Figura 4.2.2* se muestra la cantidad de kwh producidos (en rojo) por el aerogenerador implantado en la granja estudiada y los que realmente se aprovechan (en azul) para diferentes valores de velocidad.

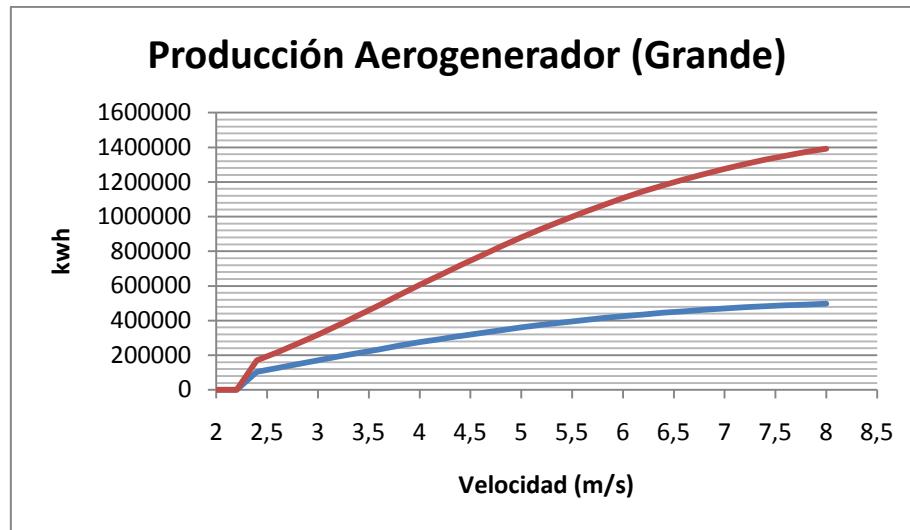


Figura 4.2.2 Kwh Totales (Rojo) y Útiles (Azul) producidos a lo largo de un año para distintas velocidades medias de viento.

Se observa que conforme la velocidad del viento aumenta la diferencia entre kwh producidos y útiles va aumentando, con lo que el porcentaje de kwh útiles va descendiendo paulatinamente hasta acercarse en el caso de la granja grande a un 35 % de utilidad, el resto son disipados mediante cargas resistivas. En caso de que la energía eólica pudiese ser almacenada, mejor dicho, si su almacenamiento fuese viable económicamente los precios de la energía disminuirían considerablemente (en el apartado 4.5 se estudia la incorporación de baterías). La conclusión que se extrae de la representación de la granja mediana es análoga a lo aquí explicado.

Un dato muy empleado para evaluar la producción anual de un aerogenerador es conocer el número de horas equivalentes. En la *Figura 4.2.3* se muestran el número de horas equivalentes del aerogenerador (en rojo) y el número de horas equivalentes que realmente son útiles.

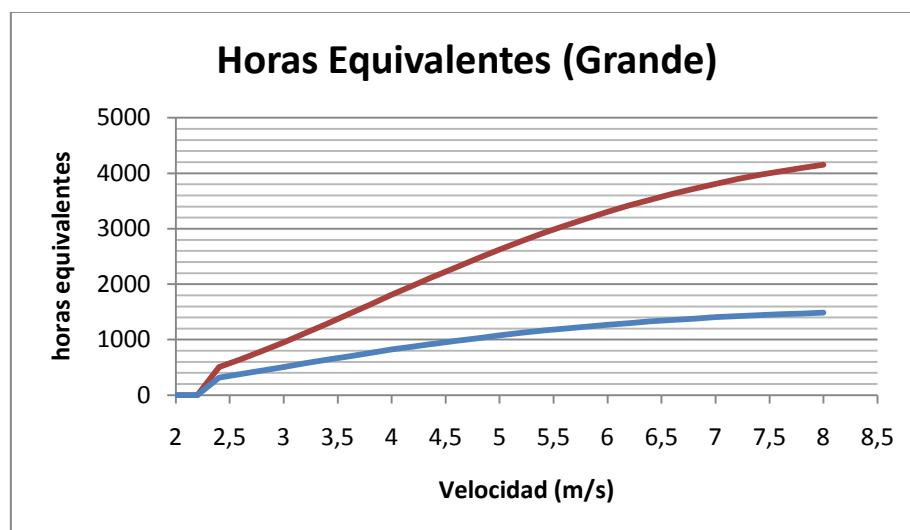


Figura 4.2.3 Horas Equivalentes Totales (Rojo) y Útiles (Azul) producidos a lo largo de un año para distintas velocidades medias de viento.

La *Figura 4.2.2* tiene una forma muy similar al *Figura 4.2.3*, esto es, porque las horas equivalentes guardan relación directa con la producción de kwh por el aerogenerador (Se puede entender mejor observando el *Anexo A7*). Al igual que ocurría en los gráficos anteriores, el número de horas equivalentes a altas velocidades va estabilizándose además de irse separando más y más las líneas de horas equivalentes totales y las que realmente son útiles. Esto refleja, la cantidad de kwh que se “pierden” y que se podrían utilizar para utilizar cuando fuesen requeridos, siempre y cuando pudiesen ser almacenados, algo que por el momento o no es posible o es bastante caro.

### **4.3 Análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados**

En el *apartado 4.1* se ha determinado que la mejor opción es que el sistema se componga de aerogeneradores usados frente a nuevos, ya que tanto el precio de la producción energética por kwh como el VAN, así lo indican. En esta parte se analizará en qué circunstancias los aerogeneradores nuevos se impondrían a los usados.

Los resultados obtenidos en el sistema óptimo vienen determinados por la información que se ha manejado, que en el caso de la implantación de aerogeneradores usados se basa en los costes que supuso la colocación de uno de 250 kw en una granja porcina. Las conclusiones tomadas a raíz de esos datos se pueden considerar como correctas (ya que como se ha dicho pertenecen a un caso real), aunque no tomarlas como un dogma. Me explico, en el mercado de aerogeneradores de segunda mano se encuentran muchos aparatos, algunos de ellos (por su potencia nominal) podrían ser aptos para ser implantados en granjas porcinas pero posiblemente no se encuentre uno que encaje exactamente con las prestaciones que se está buscando (precio y/o vida útil). Esta situación se da porque el mercado de segunda mano no se puede predecir y hay que ajustarse a lo que se encuentre disponible en el momento que se tenga que realizar la adquisición de un aerogenerador que reemplace al que ya ha terminado su vida útil. El precio depende de varios factores. Algunos de los más importantes se detallan a continuación:

- Puede variar dependiendo de la antigüedad del aparato.
- Fluctuar en función de la empresa (marca) que lo haya fabricado.
- También es posible que el vendedor ponga un precio bajo porque le urge venderlo o por el contrario uno elevado si no le importa esperar para encontrar comprador, ...

En referencia a los aerogeneradores nuevos, el precio para el estudio base se ha estimado mediante los datos facilitados por la empresa aragonesa Ades. En los últimos años se ha ido reduciendo el coste por kw instalado hasta llegar a los precios actuales (muy inferiores a los de hace unos pocos años). Esto ha sido posible gracias a la investigación en el sector y al desarrollo de las nuevas tecnologías. La unión de estos dos sucesos se acaba traduciendo en ahorro a la hora de fabricar el aerogenerador, además de mejorar sus prestaciones (por ejemplo, años de vida útil). Por ello, se espera que el sector siga en la misma línea de reducción de costes y así en un futuro se consiga producir energía eléctrica más barata.

En las condiciones en que nos encontramos se ha mostrado que la instalación de aerogeneradores usados es más rentable que colocarlos nuevos, pero en este apartado se va a mostrar en qué situaciones (variando precio, vida útil,...) para cada una de las dos granjas estudiadas el mercado nos va a aconsejar una u otra opción.

Los escenarios que se comparan en cada granja son:

- Análisis de sensibilidad estableciéndose variaciones en la vida del aerogenerador usado frente a incrementos en la vida útil del nuevo (suponiendo que los precios de ambos tipos de aerogeneradores permanecen invariables).

- Análisis de sensibilidad comparando fluctuaciones de precios entre aerogeneradores nuevos y usados, manteniendo constante la vida útil establecida para ellos.

- Análisis de sensibilidad que sirva para comparar qué ocurre cuando se producen variaciones en la vida del usado y disminución de precio del aerogenerador nuevo (manteniéndose el precio y la vida respectivamente).

- Se realizará un análisis similar al realizado en el punto anterior pero en este caso, aplicándose variaciones al precio del usado y a la vida del nuevo (se conserva la vida útil de usado y el precio del nuevo).

- Se estudiará qué ocurre mediante un análisis de sensibilidad si en el aerogenerador usado se producen variaciones de vida y precio y el usado aumenta su vida útil.

- Mediante un análisis de sensibilidad realizado sobre la vida y precio del aerogenerador usado se determinará en qué circunstancias es precisa la instalación de un aerogenerador nuevo.

Se comienzan a responder los puntos establecidos, por la granja grande (ARZA).

### **Granja Grande (ARZA)**

- La conclusión que se extrae del primer análisis para la granja grande es que por mucho que se aumente la vida del aerogenerador nuevo (incluso por encima de los 30 años), su instalación no tendrá sentido mientras el aerogenerador de segunda tenga una vida útil de más de 7 años.

- En la *Figura 4.3.1* se puede observar a partir de qué variaciones en los precios de es preferible el uso de aerogeneradores nuevos o usados.

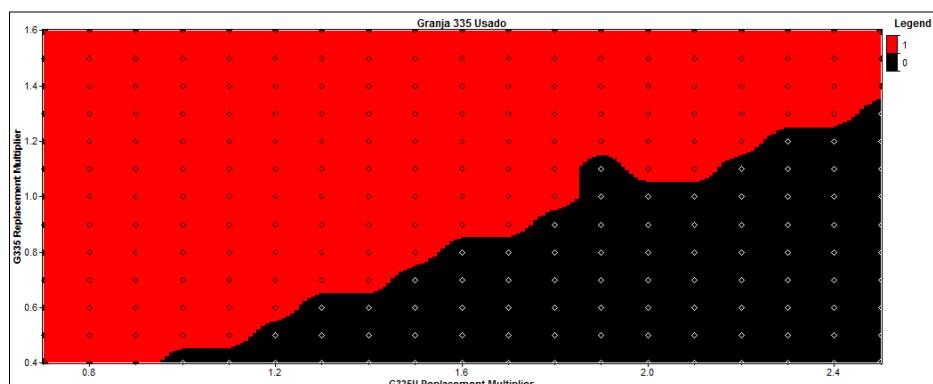


Figura 4.3.1 Variación de los Precios de los Aerogeneradores para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Grande).

La parte coloreada en rojo cubre el rango de precios en los que la solución óptima corresponde al aerogenerador usado, mientras que el color negro indica que sería más recomendable la instalación de un aerogenerador nuevo. De la *Figura 4.3.1* se deduce que la distribución óptima para los aerogeneradores sigue una relación que se puede aproximar por una recta.

- Después de realizar la comparación entre la vida útil del aerogenerador usado y la variación de precios del nuevo, se ha llegado a la conclusión de que para que el granjero se plantea la implantación de un aerogenerador nuevo en detrimento de uno usado, la vida útil del usado tendría que ser menor de 12 años. En caso de que eso ocurriese, además el precio del aerogenerador nuevo debería reducirse de manera inversamente proporcional a como lo hiciese la vida de la máquina usada (por ejemplo, a partir de 7 años de vida para el usado y una reducción de un 20% del aerogenerador nuevo, la opción elegida sería la segunda). Se puede observar la gráfica correspondiente en el *Anexo A8*.

- Sólo en el caso de que el aerogenerador sufriese un aumento de precio de un 65% se podría empezar a pensar en colocar un aerogenerador nuevo, siempre y cuando éste, tuviese una vida útil de unos 30 años.

- Si se establece una relación entre el aumento o disminución del precio con la vida útil del aerogenerador usado y se compara con la variación en la vida útil del nuevo, el resultado del análisis no dejar lugar a las dudas, lo mejor es instalar un aerogenerador usado, ya que aunque se aumentase el precio del aerogenerador usado en un 10% por cada año más de vida que tuviese, ésta sería la opción óptima.

- En la *Figura 4.3.2* se muestra en qué situaciones es rentable colocar un aerogenerador nuevo en vez de uno usado, para unas variaciones de precio y vida del último.

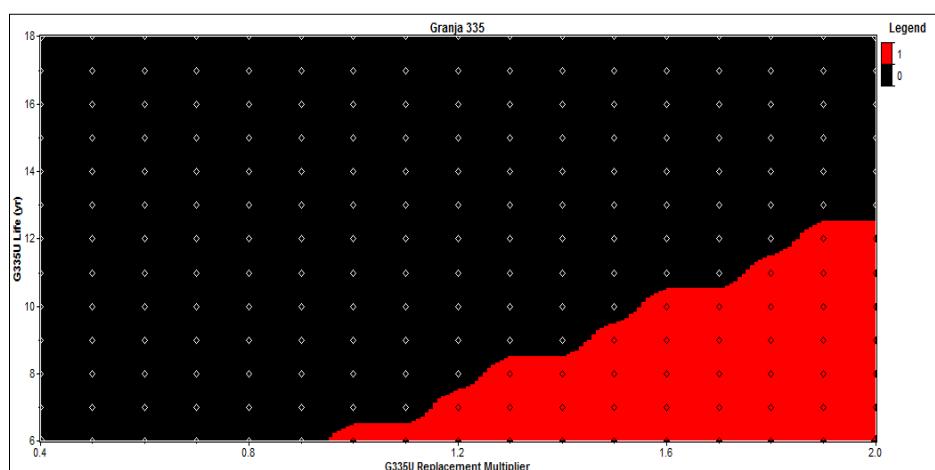


Figura 4.3.2 Variación de las características del Aerogenerador Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Grande).

Observando con detenimiento el gráfico superior, se determina que si el aerogenerador usado tiene una vida útil superior a los 12 años, el nuevo no tiene posibilidad de ser instalado. Sin embargo, si es menor ya entran en juego los costes del aerogenerador con la relación que se indica en la *Figura 4.3.2*.

### **Granja Mediana (QUINTO)**

A continuación se explicarán las conclusiones a las que se ha llegado para esta granja, después de que sean realizados los mismos análisis, que para el caso anterior. Para que este apartado no se extienda en demasía, se explica directamente la conclusión a la que ha llevado cada análisis.

- No vale la pena implantar un aerogenerador nuevo a menos que la vida útil del usado sea menor de 8 años y la del nuevo aumente a un valor por encima de los 30 años.

- La respuesta a esta pregunta conlleva un razonamiento muy similar al que se ha hecho en el caso de la granja grande. Al igual que ocurre en ese caso, para la granja mediana la relación con la que se obtiene el sistema óptimo guarda una relación cuasi lineal (se puede observar en el *Anexo A8*). Por ejemplo, en caso de que el aerogenerador usado mantuviese su precio, el nuevo tendría que reducir el suyo al menos un 25% para que fuese implantado. Mientras que si el que lo mantuviese fuese el nuevo y quisiésemos instalarlo, se debería de producir un aumento del precio del usado de un 35%.

- De la comparación entre la vida útil del aerogenerador usado y el precio del nuevo, se deduce que mientras el aerogenerador nuevo no rebaje su precio en al menos un 30 %, no tiene sentido implantar un generador si se dispone de uno usado.

- De la *Figura 4.3.3* se deduce que la colocación de un aerogenerador nuevo, depende casi únicamente de que la máquina usada aumente su precio en al menos un 50%, independientemente del aumento que se produzca en la vida útil de la máquina nueva.

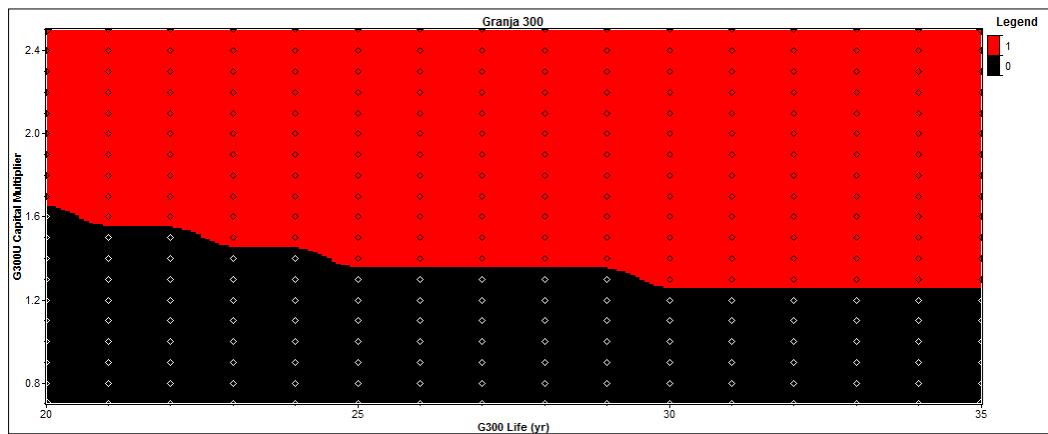


Figura 4.3.3 Variación de la Vida del Aerogenerador Nuevo y el Precio del Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Mediana).

- Con respecto a la variación del precio del aerogenerador usado ligado con su vida útil frente al incremento de vida útil del aerogenerador nuevo, la conclusión que se obtiene es que el aerogenerador nuevo no es rentable para ningún valor. El usado se impone al de segunda mano.

- La *Figura 4.3.4* sirve de ayuda para evaluar en qué situaciones es más interesante instalar un aerogenerador nuevo y olvidar la idea de utilizar uno usado.

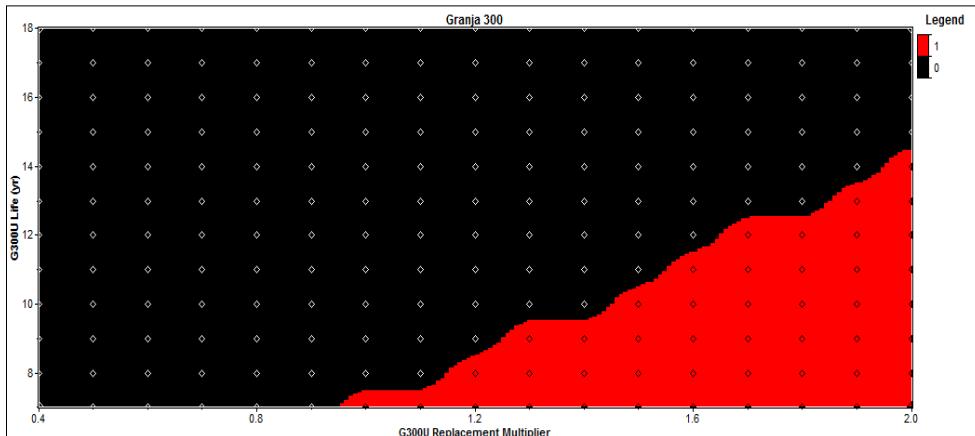


Figura 4.3.4 Variación de las características del Aerogenerador Usado para determinar qué tipo de aerogenerador es más beneficioso para el sistema (Granja Mediana).

En este caso, si al aerogenerador usado le queda una vida inferior a catorce años y además se produce un incremento de su precio, es posible que la implantación de un aerogenerador nuevo en vez del usado sea positiva para el granjero. En la gráfica de arriba se observa cómo se produce ese cambio. En rojo se muestra el área en la que es más recomendable la instalación de un aerogenerador nuevo frente a uno usado de la misma potencia.

En este apartado se han tratado de comparar los dos tipos de aerogeneradores, nuevos y usados, suponiendo distintos escenarios que se pudiesen dar en un tiempo determinado. En todos ellos, tanto para la granja grande como para la mediana, el aerogenerador usado es preferido frente al nuevo. El inconveniente que tiene decidir colocar un aerogenerador de segunda mano es que es muy posible que el mercado no ofrezca lo que se demanda para conseguir el sistema híbrido eólico-diesel, con lo que el inversor se tendrá que conformar con una máquina que se asemeje lo máximo posible al anhelado sistema óptimo. Además, en caso de que se produzcan averías importantes, será complicado encontrar piezas para reemplazarlas, mientras que en el aerogenerador nuevo los problemas mecánicos tendrían un menor coste ya que las piezas tendrían un precio económico.

#### **4.4 Análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo**

En esta parte del proyecto se tratará de determinar en qué condiciones es preferible instalar dos aerogeneradores de aproximadamente la mitad de potencia que el que ha sido determinado como óptimo para cada una de las dos granjas. Como ya se ha mostrado en la parte titulada “el sistema óptimo”, el empleo de aerogeneradores usados es más ventajoso que el uso de nuevos. Apoyándose en tal conclusión, los análisis de este apartado se basarán en aerogeneradores usados. Tales análisis se evaluarán mediante variaciones en el precio o en la vida útil de los aerogeneradores y son los que se enumeran a continuación:

- Análisis de Sensibilidad variando el Precio del aerogenerador grande y el de potencia media.
- Análisis de Sensibilidad sobre los años de vida útil de los dos posibles aerogeneradores a instalar.
- Análisis de Sensibilidad del que son protagonistas los precios y las vidas de los aerogeneradores analizados.
- Análisis de Sensibilidad sobre la variación de precio y vida útil en cada aerogenerador, por separado.

Para evaluar cada uno de los análisis planteados anteriormente es de gran ayuda consultar el *Anexo A.9* ya que allí aparecen las gráficas de las que se deducen las conclusiones aquí escritas.

##### **Granja Grande (ARZA)**

- Con la *Figura 4.4.1* es más fácil hacerse una idea de cómo evoluciona la sustitución del aerogenerador de 335 Kw frente al de 184 Kw si se producen variaciones en sus precios.

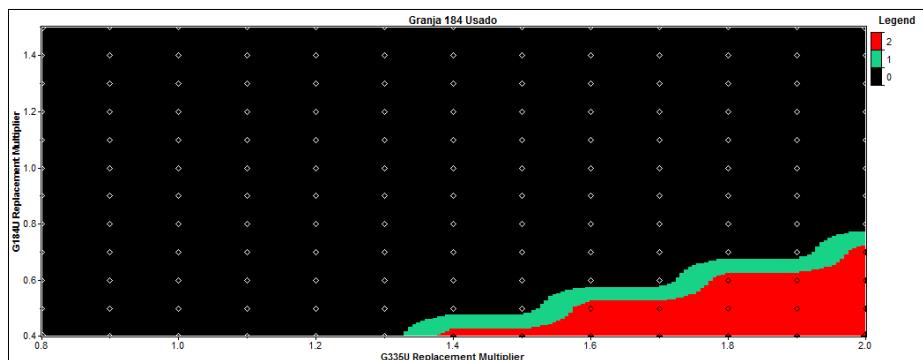


Figura 4.4.1 Variación de los Precios de los Aerogeneradores para determinar en qué situaciones es más beneficioso para el sistema implantar aerogeneradores de menor potencia (Granja Grande).

Con un vistazo rápido, es fácil darse cuenta que la idea de instalar un único aerogenerador de 184 kw de potencia tiene sentido solamente en un rango muy reducido, mientras que la opción de instalar dos sobre fuerza a la vez que disminuye su precio y aumenta el de 335 kw.

- Implantar dos aerogeneradores de 184 kw si varían las vidas útiles de ambos generadores (los de 184 kw y el de 335 kw) no parece una buena idea. Ya que, para que empezara a salir rentable se tendría que reducir la vida del de 335 kw por debajo de los 8 años y aumentar la de 335 kw por encima de los 16 años.

- Si se tiene intención de instalar dos aerogeneradores de 184 kw en vez de uno de 335 kw comparando el precio del primero con los años de vida del segundo, la respuesta es que se deberá producir un descenso vertiginoso en el precio del aerogenerador de pequeña potencia (casi un 50 %) y una disminución de la vida útil del aerogenerador grande a menos de 8 años. Sin embargo, si lo que se pretende es estudiar la implantación de dos aerogeneradores de 184 kw comparando la vida de éstos con el precio de los aerogeneradores grandes, ello comienza a tener sentido en un pequeño rango, a partir de incrementos en el precio del aerogenerador de 335 kw de un 40% y un aumento en lo que años de vida del aerogenerador pequeño se refiere, para llegando hasta los 16 años.

- El estudio que relaciona la variación de precio y de años de vida útil en cada aerogenerador por separado manteniéndose el otro tipo de aerogenerador en las mismas condiciones, concluye que la mejor opción es colocar un solo aerogenerador de 335 kw.

### **Granja Mediana (Quinto)**

- La implantación de aerogeneradores de menor potencia que el elegido en el sistema óptimo (300 kw) si hay variaciones en sus precios queda prácticamente descartada. Debido a que sólo es viable en casos muy extremos.

- La conclusión que se extrae del análisis realizado es que la comparación de estos parámetros no es muy representativa, ya que no hay cambio de opción, en lo que a tipo de aerogenerador se refiere aunque se produzcan grandes variaciones en la cantidad de años de vida de los aerogeneradores.

- De los análisis realizados, se deduce que no hay posibilidad de que se instalen aerogeneradores de 150 kw, ya que el de 300 kw sale como óptimo para el rango de valores en que se ha realizado el análisis para el precio de uno y años de vida del otro.

- Despues de realizar los pertinentes análisis de sensibilidad en los que se comparan las características de cada aerogenerador manteniendo constantes las del otro, se extrae como conclusión que la opción de implantar aerogeneradores de 150 kw, queda sólo reservada para el caso en el que el aerogenerador de 300 kw aumentase su precio un 30 % y redujese su vida útil por debajo de los 10 años.

Durante los análisis realizados no ha sido posible tener en cuenta que la instalación de dos aerogeneradores tiene algunas ventajas. Una de ellas, es en que en determinados momentos puede ser interesante parar uno de los dos aerogeneradores, en caso de que la granja no requiera de demasiados kwh, reduciendo así los excedentes energéticos. Otra ventaja es que en los momentos en los que se está realizando el mantenimiento a uno de ellos, el otro puede estar funcionando, contribuyendo al ahorro energético de la granja. Aún con esas ventajas, a la vista de todos los análisis de sensibilidad que se han realizado con el fin de determinar en qué escenarios sería rentable la implantación de aerogeneradores de la mitad de potencia que el óptimo, se puede concluir que esto sólo sería favorable en unos pocos casos (éstos son explicados en líneas superiores). Esto muestra que el sistema calculado como óptimo en su apartado correspondiente es muy robusto ya que se mantiene prácticamente invariante aunque haya cambios importantes en las características iniciales de los aerogeneradores (precio y años de vida).

## **4.5 Incorporación de Baterías**

En el *apartado 4.2* se ha mostrado que una parte importante de la energía que producen los aerogeneradores en ambas granjas se desperdicia, se “tira”. Por ello, se plantea la siguiente pregunta, ¿es interesante la incorporación de baterías para reducir los costes energéticos? Esta situación se produce porque en el sistema óptimo no se ha barajado el almacenaje de la energía sobrante producida por los aerogeneradores. Hoy en día, las baterías se presentan como una solución que puede ser viable económicamente en lo que al almacenaje de energía se refiere. En este apartado se evaluará si es viable la implantación de baterías en las dos industrias agropecuarias analizadas. En caso de que lo sea se calculará el número óptimo de baterías a instalar. Es importante tener en cuenta que las baterías traen asociados algunos problemas. Los más relevantes se detallan a continuación:

- Uno de los problemas que tienen las baterías es que para guardar grandes cantidades de energía eléctrica se requiere la instalación de muchas baterías ya que su capacidad es muy limitada.
- Como consecuencia del anterior, se requiere un espacio lo suficientemente grande como para instalar un buen número de baterías.
- Otro problema, y quizás el más importante a día de hoy, es el precio. Aunque se espera que en los próximos años su coste disminuya y se desarrollen baterías de mayor capacidad, con la aparición de los coches eléctricos. El coste de almacenamiento medio de un kwh supera los 0,10 €/kwh.
- Un dato a tener en cuenta es que debido a que las baterías están basadas en reacciones químicas no devuelven el total de energía que han almacenado, por lo que se producen pérdidas. Estas se tornan más significativas conforme la vida de la batería se va terminando.

La batería seleccionada para realizar las simulaciones es S6CS25P. Tiene una capacidad de almacenamiento de 6,94 kwh y a lo largo de su vida útil puede llegar a almacenar 9.645 kwh. El coste unitario es de 972 €. Se espera que su precio se reduzca un 15 % aproximadamente en los próximos años con lo que para calcular el coste de reemplazamiento de las baterías gastadas, será tenida en cuenta esta suposición. En las dos granjas se valorará la idea de pedir un préstamo (con las mismas características que en el *apartado 4.1*) para financiar la inversión. En el Anexo se muestra el desglose de las cuotas a pagar en cada período.

### **Granja Grande (ARZA)**

Siguiendo con el orden habitual seguido a lo largo del proyecto, se empezará a estudiar el caso de la granja grande. Para ello, se comparan dos escenarios distintos: el primero de ellos el caso óptimo y el segundo ese mismo caso pero añadiendo baterías.

- Con la aparición en escena de las baterías la inversión inicial se dispara, ya que pasa de ser de poco más de 300.000 € a más de 600.000 € con lo que la opción del

préstamo, es casi obligada. La inversión es de un 100% más, que en el sistema óptimo (el nuevo sistema queda compuesto por 270 baterías). El coste que conlleva almacenar un kwh en cada batería es de 0,103 €/kwh, un precio relativamente alto porque a este, hay que sumarle lo que cuesta su producción 0,0665 €, con lo que el precio total de cada kwh almacenado es de 0,1695 €. Con estos datos el precio de la energía se reduce de 0,225 a 0,207 €/kwh, lo que supone un ahorro de un 8% por cada kwh que requiere la granja.

### **Granja Mediana (Quinto)**

Después de ser relatado lo que ocurría en la granja grande, se pasa a analizar lo que sucede en el sistema de la granja mediana.

- En este caso, el esfuerzo económico a realizar supone un gasto de un 80% más de lo que conllevaba el sistema óptimo calculado anteriormente en el *apartado 4.1*. El número de baterías óptimo a instalar es de 220, lo que con los precios que se manejan supondrá un coste de 23.0000 €. En lo que se refiere al precio total que conlleva almacenar un kwh, se compone de 0,103 € por almacenar un kwh en la batería y de 0,113 € por su producción mediante energía eólica, lo que hace un total de 0,216 €/kwh. A la vista de estos resultados el ahorro por cada kwh que demande la granja no será mayor de un 11%, ya que pasa de costar 0,253 a 0,226 €/kwh.

La respuesta a la pregunta planteada al principio del apartado queda a cargo de ambos granjeros ya que deberán valorar si “vale la pena” realizar una inversión colosal (un 100% y un 80% más de la inversión del caso óptimo) para obtener una reducción del orden del 10% en ambos casos.

## **4.6 Extensión de la Red Eléctrica**

Aunque el diseño del sistema híbrido eólico-diesel ayuda a reducir costes energéticos a ambas granjas, será prácticamente imposible que sea más económico que si tuviese la posibilidad de servir la electricidad mediante la red. No hay que olvidar que el grupo diesel produce electricidad a 0,3 €/kwh mientras que el aerogenerador en el mejor de los casos lo hace a 0,06 €/kwh (realmente su coste es mucho menor, podría llegar a los 0,03 €/kwh, pero se desperdicia un gran número de kwh, ya que son producidos cuando la granja no los requiere). Con esto, el precio de la energía del sistema híbrido sobrepasa los 0,2 €/kwh, mientras que el precio que se paga por la electricidad a las empresas comercializadoras que se sirven de la red se encuentra en un rango entre 0,08 y 0,14 €/kwh (para las distintas franjas horarias de punta, llano y valle), con lo que su precio medio se encuentra próximo a los 0,12 €/kwh.

A lo largo del apartado se calcula cuál será la mínima distancia que tiene que haber entre el emplazamiento donde se encuentra ubicada la granja hasta la conexión más cercana a la red, que hace que el sistema aislado sea más barato que la extensión de la propia red. Se han utilizado para los cálculos de la mínima distancia precios de la energía servida por la red que van desde 0,11 a 0,14 €/kwh.

### **Granja Grande (ARZA)**

Los resultados obtenidos para la granja grande se muestran en la *Tabla 4.6.1*:

€/kwh	km
0,11	74,05
0,12	67,61
0,13	61,18
0,14	54,74

Tabla 4.6.1 Distancia hasta la que se debería extender la red para distintos precios de la energía (Granja Grande).

Cuanto menor es el precio de la electricidad, mayor es la distancia entre la granja y la red que hace que la nueva inversión sea más rentable. Se adjunta la *Figura 4.6.1* que se corresponde con un precio de la electricidad de 0,12 €/kwh:

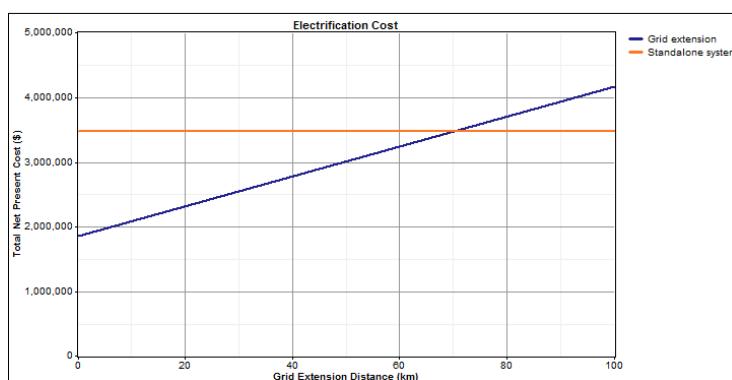


Figura 4.6.1 Costes para distintas distancias del sistema con y sin extensión de red.

**Granja Mediana (Quinto)**

Para la granja mediana, los resultados que relacionan la distancia (en km) y el precio de la electricidad proveniente de la red, se muestran en la *Tabla 4.6.2*:

€/kwh	km
0,11	54,85
0,12	51
0,13	47,16
0,14	43,31

Tabla 4.6.2 Distancia hasta la que se debería extender la red para distintos precios de la energía (Mediana).

En unas condiciones de facturación que se aproximan a la realidad (entre los 0,12 y los 0,13 €/kwh), observando los resultados que se han obtenido para los dos tipos de granjas, se concluye que el sistema óptimo instalado en la granja grande, es rentable a una menor distancia que el de la granja mediana, ya que se recomienda la extensión si la granja se encuentra a menos de 64 km de la red, mientras que en el segundo caso, invertir en la extensión de la red es interesante hasta los 48 km. En caso de que las granjas se encuentren a una mayor distancia se debería continuar con el sistema híbrido eólico-diesel.

## **Capítulo 5 CONCLUSIONES**

El proyecto plantea la integración de un sistema híbrido eólico-diesel en granjas porcinas que se encuentran aisladas (sin conexión a la red eléctrica y que cubren su demanda eléctrica mediante la energía producida por los grupos electrógenos diesel). El objetivo principal del proyecto es realizar un análisis (en una granja grande que consume 900.000 kwh anuales y otra mediana que requiere unos 540.000 kwh/año) de los costes energéticos que conlleva su instalación y compararlo con el sistema formado únicamente por grupos electrógenos diesel para concluir si es rentable la implantación del nuevo sistema (híbrido eólico-diesel). Me congratula poder afirmar que los objetivos principales se han cumplido. Además se ha obtenido un resultado muy satisfactorio. A la vista de los resultados, el sistema híbrido es rentable e interesante para las industrias agropecuarias analizadas. Lo que hace pensar que puede ser aplicable a otro tipo de industrias e incluso, ser un buen complemento para aquellos lugares en los que no dispongan de red eléctrica. Esto último es muy frecuente en países subdesarrollados. En tal caso, se abre un importante sector de negocio, aunque para ello, sería interesante realizar un estudio análogo al realizado en este proyecto, pero aplicado a poblaciones aisladas que dependan energéticamente de grupos diesel. Para ejecutarlo, habría que investigar y modelar el consumo en el poblado analizado y a partir de ahí comenzar a realizar simulaciones con Homer hasta obtener el sistema que optimiza la producción de energía con las características propias del lugar.

Dejando a un lado posibles retos futuros, el camino seguido hasta obtener los resultados del proyecto no fue fácil. El mayor problema que se encontró fue la dificultad de manejar una buena información. En todos los sectores de los que se requirieron datos se encontraron contratiempos. Como toda regla, ésta tiene su excepción. Es el caso de los consumos eléctricos de las granjas ya que las facturas eléctricas fueron facilitadas sin mayores problemas. Sin embargo, los datos sobre la industria agropecuaria aragonesa se retrasaron varias semanas. Conseguir precios de mercado de grupos electrógenos diesel fue duro, ya que hubo que contactar con varios proveedores e incluso pedir un presupuesto, para que así fuesen facilitados. La información recabada que se refiere a la velocidad del viento se encontró en la red después de una ardua búsqueda. Los costes asociados a los aerogeneradores durante el proyecto están apoyados en los gastos que produjo la implantación de un aerogenerador usado. Para los nuevos se debe agradecer a la empresa Ades la disponibilidad para facilitarlos. Después de este calvario, el siguiente paso fue tratarla de la forma adecuada. Fue más sencillo, porque en esta parte el director del proyecto fue aconsejando cómo manejarla para sacarle el máximo rendimiento.

A continuación, se exponen las conclusiones obtenidas en las dos granjas para: el sistema óptimo, la influencia de la velocidad de viento, análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados, análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo (caso base), la implantación de baterías y la extensión de la red eléctrica.

- Sistema Óptimo. Para obtenerlo se han evaluado distintos factores. El primero fue conseguir la configuración de grupos diesel que presentaba un menor coste por kwh de energía producido. Ello se consiguió, para la granja grande con la colocación de 5 grupos diesel de 125 Kva y para la mediana con el mismo número de grupos aunque de una potencia inferior, 100 Kva. El precio de la energía es de 0,3 €/kwh aproximadamente. Para los aerogeneradores se dedujo que es mejor la implantación de un solo aerogenerador y que además sea usado. Para la granja grande, la potencia óptima es de 335 kw mientras que para la mediana se obtuvo para 300 kw. El precio por kwh útil producido por energía tiene un coste de 0,0665 € para el aerogenerador de 335 kw y de 0,113 €. La media ponderada al número de kwh producidos por cada tipo de fuente energética dio como resultado un coste de 0,225 €/kwh en el caso de la granja grande y de 0,253 €/kwh para la granja mediana. El ahorro que se produce en la granja grande es de un 22% con una inversión de 328.487 €. Para la granja mediana el ahorro es de un 15.7%, aunque la inversión es inferior a la de la granja grande, es de 294.258 €.

- Influencia de la Velocidad del Viento. Es bien sabido que, a mayor velocidad de viento mayor cantidad de kwh producidos por los aerogeneradores instalados (a menos que la velocidad sea superior a la velocidad de corte, unos 25 m/s). Por ello, dependiendo de cómo varíe, el coste de la producción de electricidad del sistema híbrido se verá influenciado. Por ejemplo, para el caso estudiado de la granja grande se ha supuesto una velocidad anual media de 4,37 m/s y el precio es de 0,225 €/kwh. Si ese valor de velocidad asciende hasta los 6 m/s el coste se reduce a 0,187 €/kwh mientras que si la velocidad es de 3 m/s, el coste sufre un incremento importante, llega hasta los 0,267 €/kwh. Aunque, el coste de la producción disminuye con el aumento de la velocidad, es también cierto que el porcentaje de energía útil disminuye de una manera importante. Como se ha demostrado, la velocidad del viento tiene una influencia muy importante en el coste de la electricidad, por ello, cuando se va a instalar un aerogenerador un estudio del recurso eólico tiene una importancia capital.

- Análisis de sensibilidad del precio y de la vida útil de aerogeneradores nuevos y usados. Como ya se ha indicado, con las condiciones representadas en este proyecto, es más rentable colocar un aerogenerador usado que uno nuevo, pero dependiendo de cómo varíen las características de los aerogeneradores tal conclusión puede cambiar. Por ejemplo en la granja mediana, si el aerogenerador usado pasa de vivir 12 a 11 años y el precio que encontramos en ese momento en el mercado ha incrementado en un 50%, la opción preferida pasa a ser el aerogenerador nuevo. En un principio, puede parecer que es un caso que es casi imposible que se encuentre, pero debemos tener en cuenta que el mercado de aerogeneradores de segunda mano es muy inestable y es relativamente sencillo que no se encuentre el producto exacto que se está buscando o que su precio en el mercado no sea el que se esperaba. Además, de la misma manera que cuando uno compra una camiseta y si es de marca paga una cantidad de dinero muy superior que si no lo es, en los aerogeneradores ocurre lo mismo y una aerogenerador de la misma potencia puede tener un precio muy distinto dependiendo de quien lo haya fabricado.

- Análisis de sensibilidad sobre la implantación de aerogeneradores de menor potencia que los que conforman el sistema óptimo. La conclusión general que se extrae de esta parte del proyecto es que el sistema óptimo es realmente estable ya que prácticamente permanece invariante aunque haya variaciones en los precios y vidas de los aerogeneradores (en el *Anexo A9* se encuentra una batería de figuras en las que se puede observar cómo varía el sistema con cada una de las variaciones ocurridas). Por ello, se puede concluir que es preferible instalar un aerogenerador de gran potencia que varios de una potencia menor. Esta conclusión es compartida para las dos granjas.

- Incorporación de Baterías. A la vista de los resultados obtenidos para las dos granjas, la adición de baterías al sistema resulta beneficiosa, al menos en lo que a ahorro energético se refiere. En la granja grande se produce un ahorro de un 8% con respecto al sistema sin baterías mientras que en la mediana el ahorro es de un 11%. Observándolo desde otro punto de vista quizás ya no parece tan beneficiosa su implantación si se indica que la inversión inicial crece en más de un 80% (para las dos granjas) en comparación con el sistema base, calculado como óptimo. Por lo tanto, la decisión de instalar baterías dependerá de si el granjero prefiere hacer un desembolso tan grande para reducir en un 8% sus gastos o si por el contrario se conforma con el sistema sin baterías.

- Extensión de la Red Eléctrica. En esta parte se ha querido mostrar hasta qué distancia (en km) es rentable extender la red eléctrica comparado con el coste que supone el sistema híbrido eólico-diesel (en la *Figura 4.6.1* del *apartado 4.6* se puede observar cómo varía el VAN de ambas opciones). Por lo tanto, si la granja se encuentra a más distancia de la línea eléctrica más cercana que la que se muestra en el *apartado 4.6*, no tiene sentido extender la red, pero si es inferior, lo más recomendable sería dejar de utilizar el sistema con grupos diesel y usar electricidad que provenga de la red eléctrica que previamente habrá tenido que ser extendida. Una opción que hace más atractiva la opción de la extensión de la red es si se da la circunstancia de que haya alguna otra industria interesada en la extensión que se encuentre cercana a la granja porque así el coste se dividiría y la opción sería rentable a una mayor distancia. Con los precios actuales a los que se encuentra la electricidad la extensión de la red para el caso de la granja grande se aconseja si ésta se encuentra a menos de 64 km del punto de conexión a red más cercano. Para la granja mediana la distancia queda reducida a los 48 km.

. Aunque no es objeto de este proyecto, no quiero dejar de manifestar que aunque se tuviera acceso a la electricidad mediante la red, la implantación de la energía eólica complementándose con la eléctrica sería rentable, pues, como se desprende de los datos de este proyecto un kwh eólico tiene un coste real para el inversor entre 0,03-0,06 € y el precio de un kwh eléctrico en la actualidad se encuentra entre 0,09-0,014 €, precio que sin duda seguirá aumentando. Estoy convencido que en un futuro próximo la energía eólica convivirá perfectamente allá donde haya instalaciones con red eléctrica (polígonos industriales y centros agropecuarios).

Así pues, después de que se haya hecho un breve repaso a los resultados más interesantes obtenidos en el proyecto, se puede concluir que la incorporación de la energía eólica como complemento para la producción de energía eléctrica tiene efectos positivos. Si además se hace con la colocación de un aerogenerador de potencia óptima y que sea usado, todavía se obtienen mayores beneficios. También existe la opción de implantar baterías para almacenar la energía sobrante producida por el aerogenerador, aunque como ya se ha comentado en líneas anteriores, la inversión supone un gran desembolso.

## Capítulo 7 REFERENCIAS

- Informe Gasóleo: Creación de un gasóleo agrícola profesional.  
[http://www.coag.org/rep\\_ficheros\\_web/d0afd41515ef75d0edf2ae03a740d73e.pdf](http://www.coag.org/rep_ficheros_web/d0afd41515ef75d0edf2ae03a740d73e.pdf). Consultado 11/02/11.
- Evolución de los Precios del Gasóleo.  
[http://www.coag.org/rep\\_ficheros\\_web/631f422a8537ab13580fe86925a076e7.pdf](http://www.coag.org/rep_ficheros_web/631f422a8537ab13580fe86925a076e7.pdf). Consultado 11/02/11.
- Generador Diesel. <http://www.dieselgenerador.com/>. Consultado 11/02/11.
- Generadores Luz. <http://www.generadoresluz.com/>. Consultado 11/02/11.
- Grupos Electrógenos – Grupo Electrógeno.  
<http://www.generadoresymaquinaria.com/descripcion.php?id=96>. Consultado 11/02/11.
- Grupos Electrógenos Taigüer.  
<http://www.taiguergeneradores.com/generadores/generadores-taiguer/grupos-electrogenos.php>. Consultado 11/02/11.
- Series de Datos Meteorológicos para distintas estaciones españolas.  
[ftp://ftpdatos.aemet.es/series\\_climatologicas/valores\\_mensuales/estacion/](ftp://ftpdatos.aemet.es/series_climatologicas/valores_mensuales/estacion/). Consultado 11/02/11.
- Mur Amada, Joaquín. Grid Integration of Wind Power.  
<http://www.generacioneolica.org/>. Consultado 11/02/11.
- Talayero Navales, Ana Patricia y Telmo Martínez, Enrique (2008): “*Energía Eólica*”. Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Energía Eólica. <http://mgar.net/soc/eolica.htm>. Consultado 11/02/11.
- Wind Diesel Hybrid system Options for Alaska.  
[http://www.aidea.org/aea/PDF%20files/Wind-Diesel\\_Options\\_Alaska\\_Steve-Drouilhet\\_NREL.pdf](http://www.aidea.org/aea/PDF%20files/Wind-Diesel_Options_Alaska_Steve-Drouilhet_NREL.pdf). Consultado 11/02/11.
- Global Wind, Herramienta de Análisis del Potencial Eólico.  
<http://www.globalwindmap.com/VisorCENER/mapviewer.jsf?width=1059&height=495>. Consultado 11/02/11.
- Danish Wind Industry Association.  
<http://guidedtour.windpower.org/en/tour/wres/roseplot.htm>. Consultado 11/02/11.
- Ades, energía eólica. <http://www.ades.tv/>. Consultado 11/02/11.
- The Virtual Websites for Wind Power Technology Worldwide.  
<http://www.windturbinewarehouse.com/>. Consultado 11/02/11.

- Available second hand wind energy converters due to repowering programmes.  
[http://www.repoweringsolutions.com/english/download\\_list\\_wind\\_turbine/list\\_wind\\_turbines.pdf](http://www.repoweringsolutions.com/english/download_list_wind_turbine/list_wind_turbines.pdf). Consultado 11/02/11.
- Bancos de Carga. <http://www.directindustry.es/prod/mf-power-resistor/bancos-de-carga-39029-334306.html>. Consultado 11/02/11.
- Banco de Carga Resistente. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/resistive-load-bank-201766352.html>. Consultado 11/02/11.
- Técnicas y Eléctricas Mecánicas. <http://www.telyme.es/contacto.html>. Consultado 11/02/11.
- SMA Sunny Central SC 500U 500kW Inverter. <http://www.affordable-solar.com/sma-sunny-central-500U-inverter.htm>. Consultado 11/02/11.
- Homer, the Optimization Model for Distributed Power.  
<https://analysis.nrel.gov/homer/>. Consultado 11/02/11.
- Baterías Rolls. [http://www.energiasolar-2000.es/html/baterias\\_rolls\\_.html](http://www.energiasolar-2000.es/html/baterias_rolls_.html). Consultado 11/02/11.

