



Trabajo Fin de Grado

**Título del trabajo : OPTIMIZACIÓN DEL
SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA GRANJA
AISLADA DE LA RED ELECTRICA MEDIANTE UN
SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTÁICO-EÓLICO-
DIESEL-BATERÍAS.**

Autor

Silvia Tejedor Izquierdo

Director

Rodolfo Dufo López

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2015/2016

OPTIMIZACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA GRANJA AISLADA DE LA RED ELECTRICO MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTÁICO-EÓLICO-DIESEL-BATERÍAS

RESUMEN:

En este proyecto se pretende buscar la mejor combinación de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, baterías y generadores diesel, para el suministro eléctrico de una granja ubicada en Ayllón, perteneciente a la provincia de Segovia, la cual está alejada de la red eléctrica, además de ver los factores que afectan al sistema óptimo que se obtiene. Para ello se utiliza el software iHOGA.



**DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD**

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. SILVIA TEJEDOR IZQUIERDO,

con nº de DNI 72891681-N en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) GRADO, (Título del Trabajo)

OPTIMIZACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA GRANJA AISLADA DE LA RED ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO-DIESEL-BATERÍAS

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23 de Junio de 2016

Fdo:

Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBTENCIÓN DE DATOS.....	8
2.1. Ubicación.	8
2.2. Datos climatológicos.....	9
2.3. Datos eléctricos.....	9
3. MODELOS MATEMÁTICOS	11
3.1. Generador fotovoltaico	12
3.2. Aerogenerador.....	12
3.3. Generador diesel.....	14
3.4. Banco de baterías	14
4. DIFERENTES CASOS ESTUDIADOS.....	17
4.1. Caso inicial	17
4.1.1. Resultados.....	17
4.2. Disminución de la inflación del gasóleo.....	20
4.2.1. Resultados.....	20
4.3. Aumento de la inflación del gasóleo.....	22
4.3.1. Resultados.....	22
4.4. Aumento del precio del gasoil	24
4.4.1. Resultados.....	24
4.5. Disminución del precio del gasoil	26
4.5.1. Resultados.....	26
4.6. Con compra y venta de energía	28
4.6.1. Resultados.....	28
4.7. Con compra de energía.....	31
4.7.1. Resultados.....	31
4.8. Granja ubicada en Bilbao	33
4.8.1. Resultados.....	33
4.9. Granja ubicada en Almería.....	35
4.9.1. Resultados.....	35
4.10. Utilización Gasóleo B	37
4.10.1. Resultados.....	37
4.11. Utilización Gasoil B y disminución de la inflación.....	39
4.11.1. Resultados.....	39

4.12. Disminución de la velocidad del viento	41
4.12.1. Resultados.	41
4.13. Disminución de la irradiación	43
4.13.1. Resultados.	43
4.14. Disminución de la irradiación y disminución del precio del gasoil	45
4.14.1. Resultados.	45
5. Comparativa de los resultados.....	47
5.1. Coste total e inversión inicial.....	47
5.2. Energía generada.	49
5.3. Coste actualizado de la energía	51
5.4. Baterías	52
6. Conclusiones.....	53
7. Referencias.....	54

1. INTRODUCCIÓN

El estudio trata sobre la implantación de un sistema híbrido fotovoltaico-diesel-eólico-baterías de una granja ubicada en la provincia de Segovia, que se dedica a la cría porcina. Todo el sistema está mecanizado, y los sistemas de calor utilizados son focos y placas, utilizando datos reales de consumos eléctricos para obtener unos resultados más cercanos a la realidad del caso de estudio.

A partir de los datos que se especifican más adelante se pretende conseguir la mejor opción de suministro eléctrico, en el caso de que dicha granja no pudiera ser conectada a la red eléctrica pública.

Se plantea la posibilidad de un sistema híbrido, formado por paneles fotovoltaicos, generadores diesel, aerogeneradores y baterías, para proporcionar la energía demandada durante todo un año.

El software utilizado es iHOGA, el cual a partir de los cálculos pertinentes, obtiene la mejor combinación posible de los distintos elementos comentados, según los datos introducidos, que se desarrollan más adelante, y que son:

- Consumo eléctrico durante un año.
- Ubicación.
- Altitud.
- Irradiación.
- Velocidad del viento.
- Temperatura.

Los estudios se han realizado, como se ha comentado, para una granja porcina ubicada en Ayllón (Segovia), planteándose distintos casos de estudio para así conocer cómo afectan las distintas variables a los posibles resultados para implantación del sistema eléctrico óptimo.

2. OBTENCIÓN DE DATOS.

2.1. Ubicación.

La granja que se va a tratar está ubicada en la provincia de Segovia, en concreto en la nacional 110, Km 104 .Pol. 404, Parcela 71 . 40520 del municipio de Ayllón.

Las coordenadas de dicha ubicación son las siguientes:

- Latitud = 41,42
- Longitud = -3,38



Imagen 1: Ubicación del municipio de Ayllón en España



Imagen 2: Ubicación del municipio de Ayllón en la provincia de Segovia

2.2. Datos climatológicos.

Los datos climatológicos del emplazamiento de la granja son los que se muestran a continuación:

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria(Horizontal)	Presión atmosférica	Velocidad viento	Temperatura terrestre
	°C	%	kWh/m2/d	kPa	m/s	°C
Enero	1.8	84.7%	1.84	91.8	3.5	2.1
Febrero	3.2	78.5%	2.73	91.7	3.6	3.8
Marzo	6.9	63.3%	4.08	91.6	3.7	8.3
Abril	9.5	57.2%	4.94	91.2	3.7	11.9
Mayo	14.3	49.5%	5.86	91.3	3.4	17.9
Junio	19.6	41.1%	6.88	91.5	3.2	24.4
Julio	22.5	38.6%	6.86	91.6	3.3	27.6
Agosto	22.0	41.5%	5.96	91.6	3.2	26.6
Septiembre	17.9	50.2%	4.69	91.6	2.9	20.9
Octubre	12.4	64.2%	2.98	91.6	3.0	13.7
Noviembre	6.3	79.1%	1.98	91.5	3.2	6.8
Diciembre	3.0	85.1%	1.56	91.7	3.5	3.3

Fuente: web de la NASA

2.3. Datos eléctricos.

Los datos de los consumos eléctricos de la granja han sido extraídos de las facturas de la misma. En dichas facturas aparecen el consumo mensual según los distintos períodos eléctricos, siendo la tarifa utilizada la 3.1A, y la potencia máxima contratada, que asciende a 39.000 kW.

Para poder estudiar los datos de consumo eléctrico, se ha debido primero calcular el tiempo y la franja horaria que abarca cada uno de los distintos períodos, además de la época del año a la que corresponde, y esto es:

- ✓ Verano:
 - Periodo valle:0-8h.
 - Periodo punta:10-16h.
 - Periodo llano:16-24h. y 8-10h.

Meses: Marzo-Octubre

✓ Invierno:

Periodo valle: 0-8h.

Periodo punta: 17-23h.

Periodo llano: 23-24h y 8-17h.

Meses restantes que no corresponden a verano (es decir Noviembre-Febrero).

Los valores introducidos en el software son la media diaria, que se demanda cada mes a lo largo de todo el año en cada hora del día.

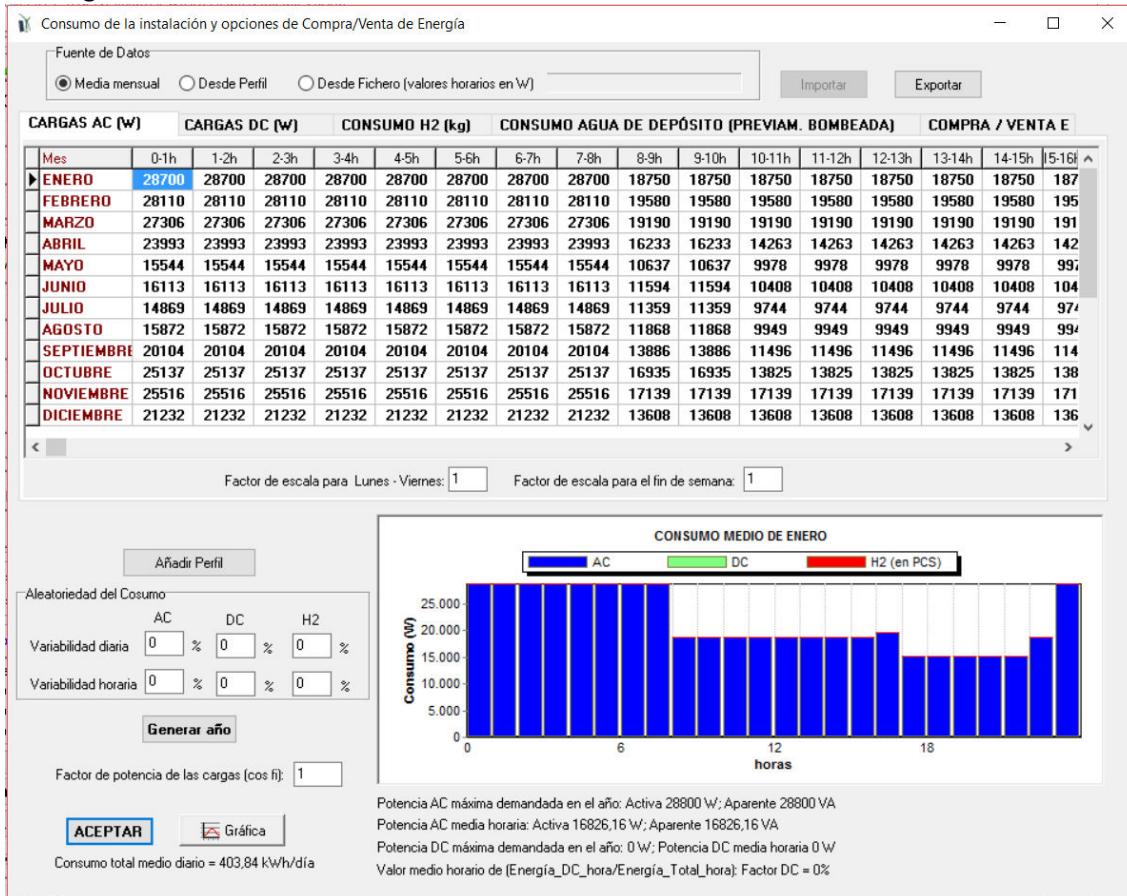


Imagen 3 : Ventana de introducción de datos de consumos eléctricos en

Los valores completos y cálculos realizados para los consumos eléctricos se adjuntan en la tabla 1 en el anexo I.

Para todos los casos de estudio se han utilizado los mismos valores de demanda eléctrica, para así poder hacer una comparativa de los mismos.

3. MODELOS MATEMÁTICOS

A continuación se va tratar sobre los modelos matemáticos en los que se basan los resultados para la simulación y evaluación de las posibles combinaciones de componentes (paneles fotovoltaicos, baterías, aerogeneradores y generador AC) obtenidos en los casos de estudio planteados. La información ha sido extraída del artículo del artículo "Optimisation of PV-wind-diesel-battery stand-alone systems to minimise cost and maximise human development index and job creation" [1].

El esquema planteado para el estudio es el que se muestra a continuación:

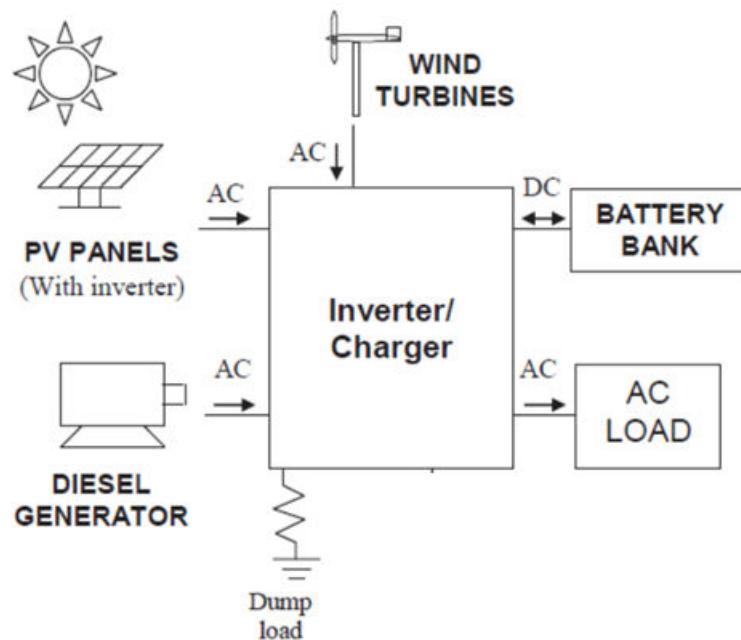


Imagen 4: Esquema de conexión de elementos. Fuente: Artículo "Optimisation of PV-wind-diesel-battery stand-alone systems to minimise cost and maximise human development index and job creation" [1].

La estrategia de control utilizada consiste en el seguimiento de la demanda.

3.1. Generador fotovoltaico

La potencia del generador fotovoltaico que llega al inversor/cargador es calculada de la siguiente manera:

$$P_{PV}(t) = P_{STC} \cdot \frac{G_{h_yearY}(t)}{1\text{kWh/m}^2} \cdot f_{mm} \cdot f_{dirt} \cdot \mu_{wire_PV} \cdot f_{temp} \quad (1)$$

Siendo P_{STC} la potencia de salida en condiciones estándar, $G_{h_yearY}(t)$ es la irradiación sobre la superficie del los paneles fotovoltaicos durante la hora t del año Y , f_{mm} es el módulo de desajuste o la tolerancia de la potencia, f_{dirt} es el factor de reducción por suciedad, μ_{wire_PV} es la eficiencia del conductor (desde el generador fotovoltaico hasta el inversor/cargador) y f_{temp} es el factor de reducción de la temperatura, que se calcula como se muestra a continuación:

$$f_{temp} = 1 + \frac{\alpha}{100}(T_c(t) - 25) \quad (2)$$

donde α es el coeficiente de potencia de la temperatura [%/°C] y $T_c(t)$ [°C] es la temperatura de las celdas fotovoltaicas, que se calcula:

$$T_c(t) = T_a(t) + \left(\frac{NOCT - 20}{0.8} \right) \frac{G_{h_yearY}(t)}{1\text{kWh/m}^2} \quad (3)$$

donde $T_a(t)$ es la temperatura ambiente [°C] y $NOCT$ es la temperatura de operación nominal de la celda [°C].

3.2. Aerogenerador

La curva de potencia suministrada por el fabricante, es decir en condiciones estándar y a nivel del mar, debe ser convertida a la curva en condiciones de altura y localización en cada hora del lugar de estudio.

Esto es debido a que tanto la presión como densidad del aire varían al aumentar la altura(en el caso de la densidad si aumenta la altura, esta disminuye; y en el caso de la presión ocurre lo mismo al aumentar la altitud)

La presión atmosférica P [Pa], a una altitud por encima a la del mar H [m], se aproxima como:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{L \cdot H}{T_0} \right)^{\frac{gM}{RL}} \quad (4)$$

Siendo P_0 la presión estándar a nivel del mar, es decir 101325 Pa, T_0 es la temperatura a nivel del mar(288,15K), L es la variación del ratio de temperatura frente a la altitud (0,0065 K/m), g es la constante gravitacional (9,80665 m/s²), R es la constante de los gases ideales cuyo valor es 8,31432 J/mol·K y M es el peso molecular del aire seco (28,9644·10⁻³ kg/mol.)

Considerando la ley de los gases ideales:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{L \cdot H}{T_o}\right)^{\frac{gM}{RL}} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (5)$$

donde ρ [kg/m³] es la densidad del aire a una altitud H[m] por encima del mar y temperatura T [K] y ρ_0 [kg/m³] es la densidad del aire a nivel del mar (1,225 kg/m³).

La potencia de salida del aerogenerador a una altura H y una temperatura T se puede calcular como la potencia de salida a nivel del mar multiplicada por el ratio ρ/ρ_0 .

A continuación se muestra un ejemplo de dos aerogeneradores, con su correspondiente curva a una altura y temperatura distintas a las del nivel del mar:

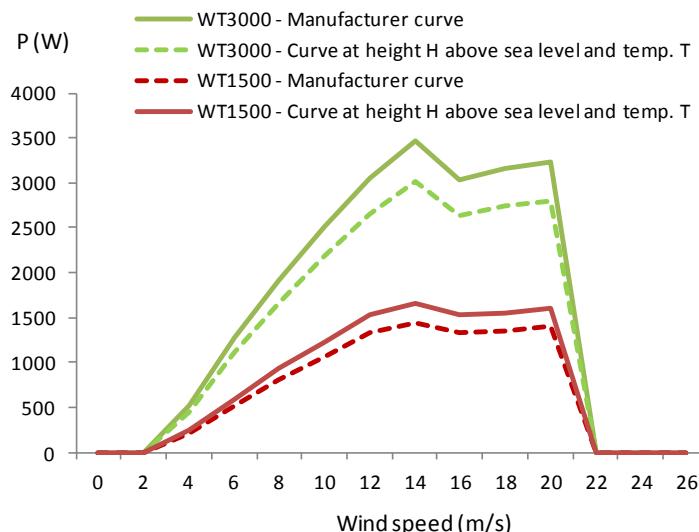


Figura 1: Ejemplo de curvas de potencia de dos aerogeneradores.

Si la altura de la góndola del aerogenerador z_{hub} [m] es diferente de la altura del anemómetro donde se ha medido la velocidad del viento z_{anem} [m], la velocidad del viento a la altura de la góndola se obtendrá de la siguiente manera:

$$W_{HUB_h_yearY}(t) = W_{h_yearY}(t) \cdot \frac{\ln \frac{z_{hub}}{z_0}}{\ln \frac{z_{anem}}{z_0}} \quad (6)$$

donde z_0 es la altitud de la rugosidad de la superficie [m].

Este valor de $W_{HUB_h_yearY}(t)$ se usa como entrada para la curva de potencia a la altura H de la localización y la temperatura $T(t)$ para obtener la potencia generada por el aerogenerador $P_{WT}(t)$ durante la hora t del año Y . La potencia del aerogenerador se dirige hacia el conversor/cargador se ve afectada también por la eficiencia del conductor, μ_{wire_WT} .

3.3. Generador diesel

La potencia de salida del generador diesel $P_{GEN}(t)$ [kW] depende de la potencia de salida de las fuentes renovables, de la carga, de la estrategia de control y del SOC del banco de baterías. El consumo de diesel [l/kWh] durante la hora t se considera de la siguiente manera:

- Si el diesel ha estado funcionando la hora previa:

$$Cons_{fuel}(t) = B \cdot P_{GEN, \text{rated}} + A \cdot P_{GEN}(t) \quad (7)$$

- Sino:

$$Cons_{fuel}(t) = B \cdot P_{GEN, \text{rated}} + A \cdot P_{GEN}(t) + F_{START}(B \cdot P_{GEN, \text{rated}} + A \cdot P_{GEN, \text{rated}}) \quad (8)$$

donde $A=0,246$ l/kWh y $B=0,08415$ l/kWh son los coeficientes de la curva de combustible[2], $P_{GEN, \text{rated}}$ [kW] es la potencia nominal y F_{START} es un factor para considerar el combustible extra para arrancar el generador, que es generalmente menor a 0,0083 [3].

3.4. Banco de baterías

La potencia de entrada del banco de baterías depende de salida de potencia de las fuentes renovables, de la carga, de la estrategia de control, de la potencia de salida del generador diesel y del SOC de dicho banco de baterías[2].

El SOC se calcula sumando a la carga efectiva de la batería el SOC de la hora anterior:

$$SOC(t + \Delta t) = SOC(t) + (I_{bat}(t) - I_{gas}(t)) \Delta t / C_N \quad (9)$$

donde $I_{bat}(t)$ [A] es la corriente de entrada a la batería, $I_{gas}(t)$ [A] es la corriente de los gases de la reacción, C_N es la capacidad nominal y Δt es el periodo de la simulación.

La corriente de entrada de la batería se calcula:

$$I_{bat}(t) = P_{BATT}(t) / U_{bat}(t) \quad (10)$$

donde $U_{bat}(t)$ [V] es el voltaje de la batería, calculado mediante las ecuaciones modificadas de Shepherd [2].

El modelo calcula la capacidad de perdidas por corrosión, $C_{corr}(t)$ y la pérdida de capacidad por la degradación, $C_{deg}(t)$. Durante cada hora la capacidad remanente de la batería, $C_{remaining}(t)$, se puede calcular de la siguiente manera:

$$C_{remaining}(t) = C_{normalised} - C_{corr}(t) - C_{deg}(t) \quad (11)$$

La pérdida de capacidad por degradación se calcula como:

$$C_{deg}(t) = C_{deg,limit} \cdot \exp \left[-c_Z \cdot \left(1 - \frac{Z_w(t)}{1.6 \cdot Z_{IEC}} \right) \right] \quad (12)$$

donde $C_{deg,limit}$ es la degradación límite, c_z es una constante igual a 5, Z_w es el numero de ciclos y Z_{IEC} es el numero de ciclos de vida de IEC.

$$Z_w(t + \Delta t) = Z_w(t) + \frac{|I_{disch_bat}(t)| \cdot f_{SOC}(t) \cdot f_{acid}(t) \cdot \Delta t}{C_N} \quad (13)$$

donde I_{disch_bat} es la corriente de descarga de la batería, f_{SOC} es un factor que tiene en cuenta el impacto de la estratificación ácida.

La influencia del SOC se calcula:

$$f_{SOC}(t) = 1 + (c_{SOC,0} + c_{SOC,min} \cdot (1 - SOC_{min}(t))^{l_{10}}) \cdot f_l(I, n) \cdot (t - t_0) \quad (14)$$

donde t_0 es el tiempo de la ultima carga completa, $SOC_{min}(t)$ es el SOC mínimo desde la última carga completa, $c_{SOC,0}$ es una constante que representa el incremento en f_{SOC} en el momento en que $SOC=0$, $c_{SOC,min}$ es una constante para considerar el impacto del $SOC_{min}(t)$ y $f_l(I, n)$ es un factor de corriente, siendo n el numero de cargas mal realizadas.

El factor de corriente se puede calcular de la siguiente manera:

$$f_l(I, n) = \sqrt[3]{I_{10} / I_{bat}(t)} \cdot \exp(n(t) / 3.6) \quad (15)$$

donde I_{10} [A] es la corriente de 10h.

La influencia de la estratificación ácida en la degradación activa de las masa se tiene en cuenta mediante el factor f_{acid} :

$$f_{acid}(t) = 1 + f_{stratification}(t) \cdot \sqrt{\frac{I_{10}}{|I_{bat}(t)|}} \quad (16)$$

donde $f_{stratification}$ es el factor de estratificación, aumentado o disminuido por los factores f_{plus} y f_{minus} [1]:

$$f_{stratification}(t + \Delta t) = f_{stratification}(t) + (f_{plus}(t) - f_{minus}(t)) \Delta t \quad (17)$$

La pérdida de capacidad por corrosión se modela mediante :

$$C_{corr}(t) = C_{corr,limit} \cdot \frac{\Delta W(t)}{\Delta W_{limit}} \quad [18]$$

siendo $AW(t)$ espesor efectivo de corrosión[2].

4. DIFERENTES CASOS ESTUDIADOS

Como se ha comentado anteriormente, se han realizado distintos casos de estudio, variando alguno parámetros como: inflación, precio del combustible, irradiación, velocidad del viento, para así poder conocer cómo afectan dichos parámetros al resultado obtenido como sistema óptimo para cada caso.

La energía demandada durante todo el año asciende a la cantidad de 147.412 kWh/año, y la estrategia de control utilizada es la de "seguimiento de la demanda". Si la demanda de energía es menor que la energía generada por los distintos sistemas entonces las baterías se cargarán, si por el contrario la demanda de energía es mayor que la generada, las baterías se descargará. Además si la potencia que falta para cubrir la demanda no puede ser suplida al completo por las fuentes renovables y la descargada por las baterías entonces el resto será entregada por el generador diesel.

Para todos los casos se selecciona un inversor INGETEAM con cargador incluido, y de potencia nominal de 30.000VA.

4.1. Caso inicial

Se considera caso inicial aquel en el que se han introducido los datos climatológicos especificados anteriormente (de la ubicación de la granja en el municipio de Ayllón) y los siguientes valores:

- Precio combustible: 1,3€/l.
- Inflación del combustible del 5%.

4.1.1. Resultados.

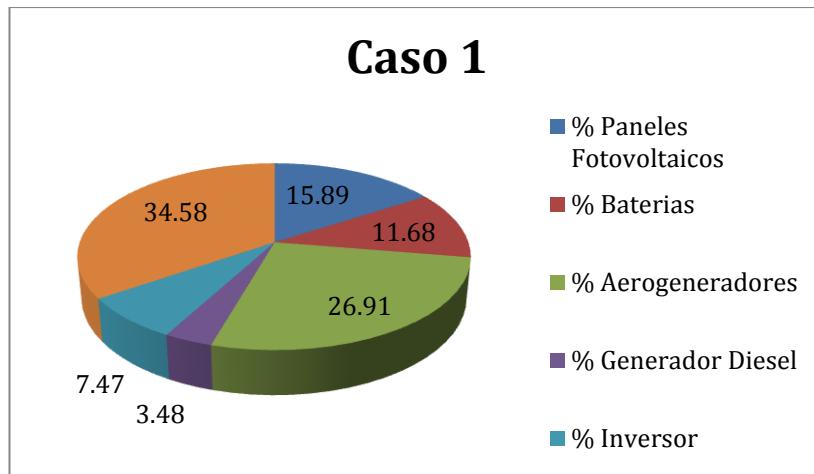
La optimización que se obtiene para este caso es la siguiente:

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 12 en paralelo-->120kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TVS-7.
 - Capacidad nominal de 550 A·h.
 - Energía total= 198 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 3 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50 .
 - Potencia total=217,43 kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 31kVA.

El coste total del sistema ascendería a 1.055.674€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,29€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 158.675€
- Banco de baterías: 116.595€
- Aerogeneradores: 268.673€
- Generador AC Diesel: 34.709€
- Coste inversor: 74.594€
- Coste combustible Generador: 345.285€

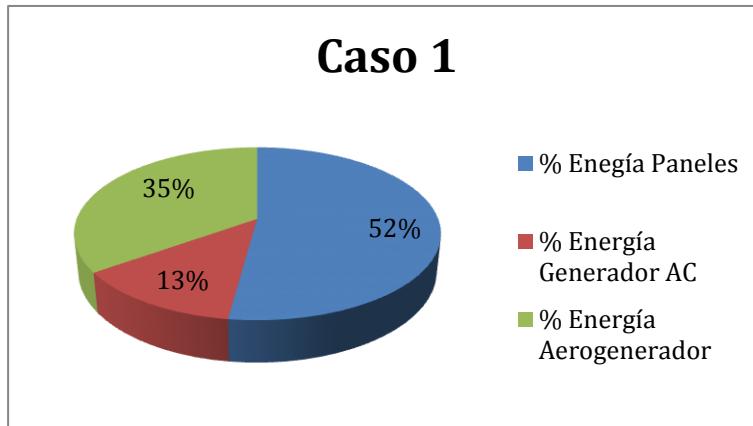


Gráfica 1.1: Distribución de los costes totales del sistema

Como se puede observar la mayor parte de los costes van dirigidos al combustible para el generador diesel, aunque el coste de adquisición de dicho generador solo abarca un 3,48% de los costes, ya que su precio solo asciende a los 8850€, precio bastante inferior que los demás sistemas.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 97.049,00 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 64.792 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 4.554 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 38.345 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 35.617 kWh/año.



Gráfica 1.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

Como se observa en la gráfica 1.2 más de la mitad de la energía es generada por los paneles fotovoltaicos, siendo el generador diesel el elemento que menor porcentaje de energía genera.

4.2. Disminución de la inflación del gasóleo

Se considera una disminución de la inflación a un 3% en vez de un 5%, dejando el resto de parámetros tal y como se han planteado en el caso inicial.

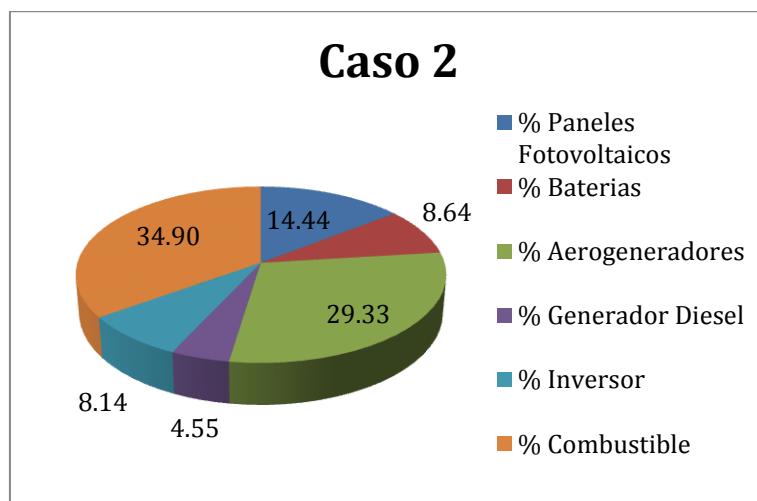
4.2.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - Composición de uno en serie por 10 en paralelo--> 100 kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total=160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 3 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50
 - Potencia total=217,43kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 31kVA.

El coste total del sistema ascendería a 658.151€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,18€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 132.260€.
- Banco de baterías: 79.121€.
- Aerogeneradores: 268.673€.
- Generador AC Diesel: 41.660€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador Diesel: 319.661€.



Gráfica 1.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 90.756 kWh/año
- Energía generada por los aerogeneradores: 67.825 kWh/año
- Energía generada por el Generador AC: 28.495 kWh/año
- Energía cargada en las baterías: 34.796 kWh/año
- Energía descargada desde las baterías: 31.894 kWh/año

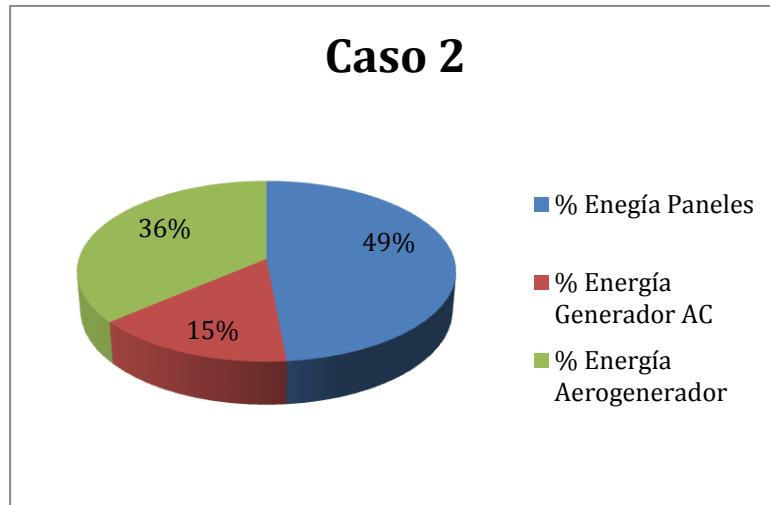


Gráfico 2.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.3. Aumento de la inflación del gasóleo

Se considera que la inflación aumenta a un 7%, es decir, un 2% mayor que en el caso inicial. El resto de parámetros se dejan como en el caso anterior.

4.3.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - Composición de uno en serie por 12 en paralelo-->120kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TVS-7.
 - Capacidad nominal de 550 A·h.
 - Energía total= 198 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 3 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50
 - Potencia total= 217,43kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 31kVA.

El coste total del sistema ascendería a 1.159.927€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,31€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 158.675€
- Banco de baterías: 116.595€
- Aerogeneradores: 268.673€
- Generador AC Diesel: 34.709€
- Coste inversor: 74.594€
- Coste combustible Generador: 449.538€

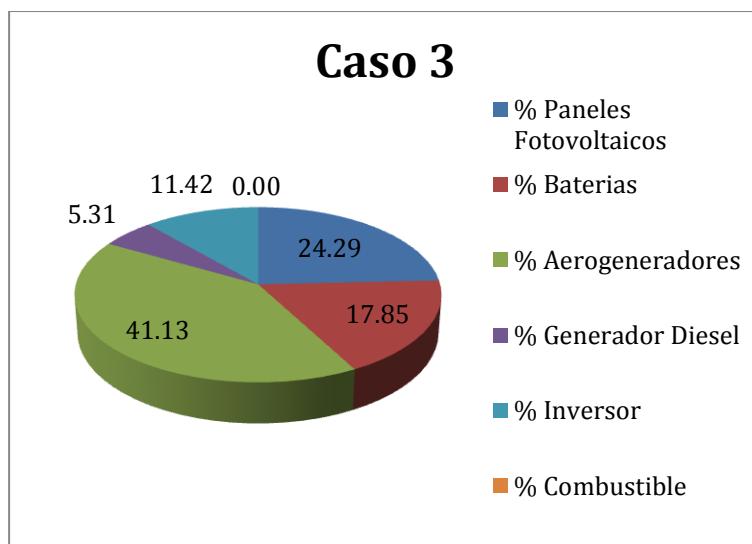


Gráfico 3.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 97.049 kWh/año
- Energía generada por los aerogeneradores: 64.792 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 24.304 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 38.345 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 35.617 kWh/año.

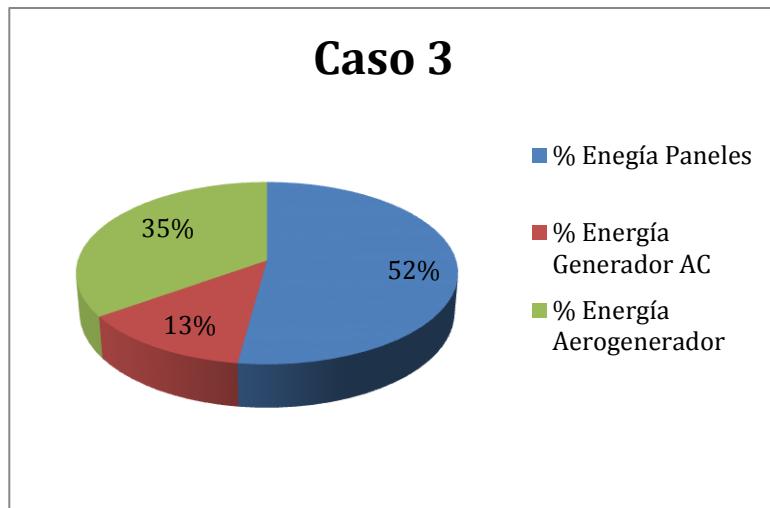


Gráfico 3.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

La distribución de generación obtenida y el sistema óptimo que ha generado el software para este caso resulta la misma que para el caso 1.

4.4. Aumento del precio del gasoil

Se considera que el gasoil aumenta de 1,3€/litro a 1,5€/litro. El resto de parámetros se dejan como en el caso anterior.

4.4.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp.
 - composición de uno en serie por 10 en paralelo--> 100kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 3 aerogeneradores, modelo AC Northern Power 50.
 - Potencia total= 217,43kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 31kVA.

El coste total del sistema ascendería a 1.116.503€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,30€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 132.360€
- Banco de baterías: 79.898€
- Aerogeneradores: 268.673€
- Generador AC Diesel: 41.640€
- Coste inversor: 74.594€
- Coste combustible Generador: 467.118€

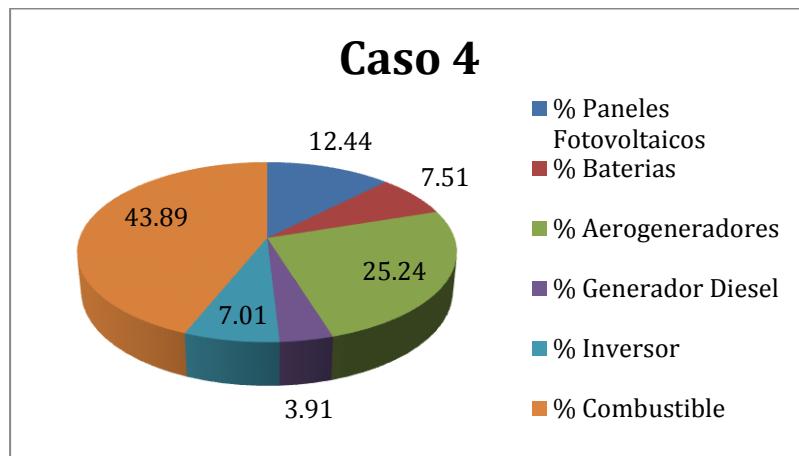


Gráfico 4.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 90756 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 67608 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 27888 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 35621 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 32700 kWh/año.

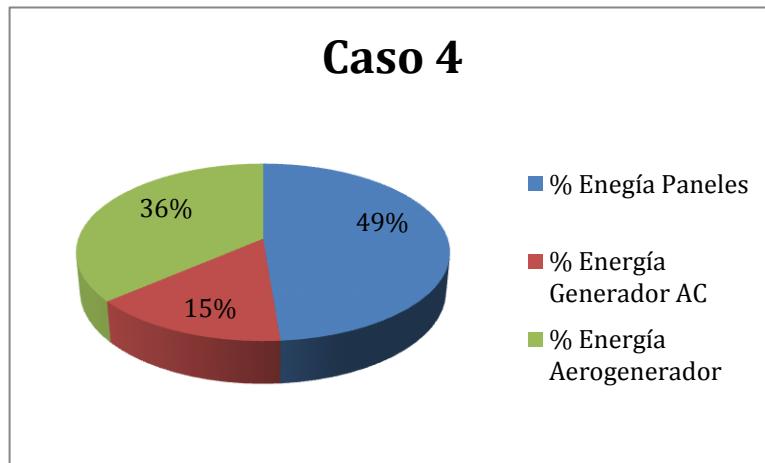


Gráfico 4.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.5. Disminución del precio del gasoil

Ahora se plantea que el precio del gasoil disminuyese a 1€/litro, dejando el resto de parámetros como en el caso inicial.

4.5.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - composición de uno en serie por 10 en paralelo-->100kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 3 aerogeneradores, modelo AC Northern Power 50.
 - Potencia total= 217,43kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 20kVA.

El coste total del sistema ascendería a 964.340€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,26€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 132.360€.
- Banco de baterías: 79.121€.
- Aerogeneradores: 268.673€.
- Generador AC Diesel: 41.660€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 315.711€.

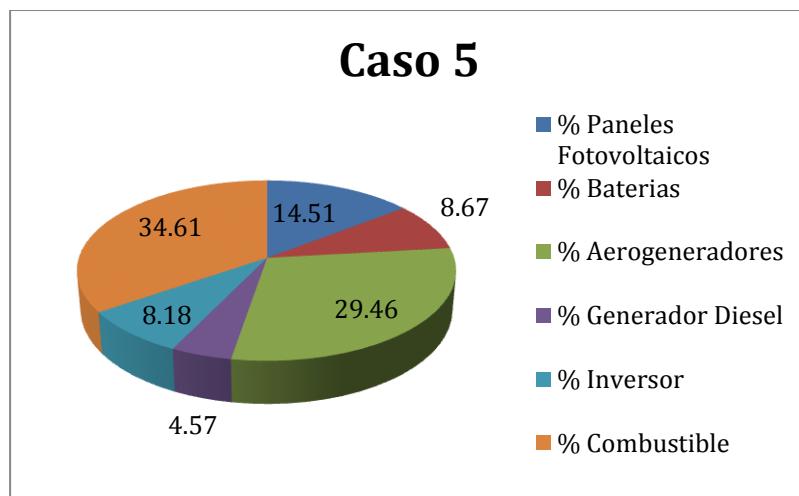


Gráfico 5.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 90.756 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 67.825 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 13.249 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 34.796 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 31.894 kWh/año.

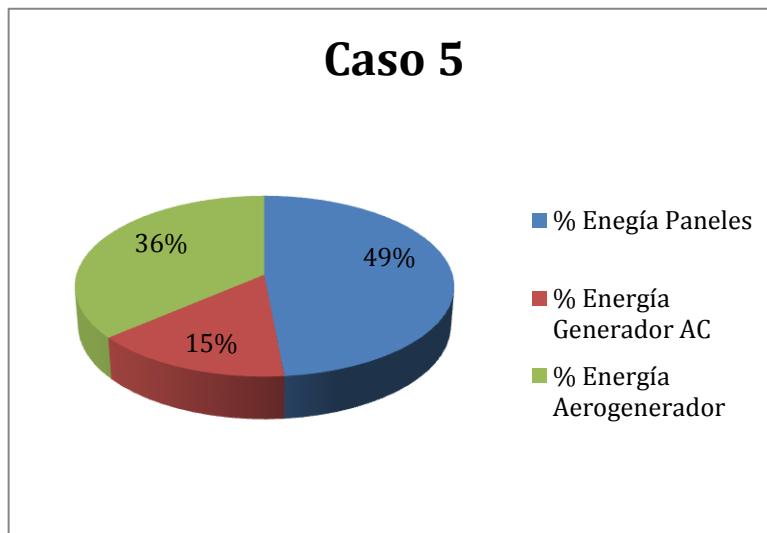


Gráfico 5.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.6. Con compra y venta de energía

Se plantea la posibilidad de conectar la granja al suministro eléctrico y además colocar los sistemas de generación planteados en casos anteriores.

Los precios de la electricidad para los distintos periodos, extraídos de las facturas, son los siguientes:

- Periodo valle: 0,067€/kWh.
- Periodo llano: 0,093€/kWh.
- Periodo punta: 0,11€/kWh.

Y para la venta de energía se ha supuesto un precio de venta de 0,07€/kWh con precio de peaje por generación de 0,5€/MWh, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 17 de la Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del Sector eléctrico, establecido en la disposición transitoria de primera del Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de Diciembre.

Tanto para venta como para compra el impuesto sobre la electricidad es de un 5,11%.

4.6.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - Composición de uno en serie por 6 en paralelo--> 60kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 2 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50
 - Potencia total=144,95 kW.

El coste total del sistema ascendería a 543.636€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,15€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 132.360€.
- Banco de baterías: 60.918€.
- Aerogeneradores: 179.115€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Gastos compra de energía: 80.018€.

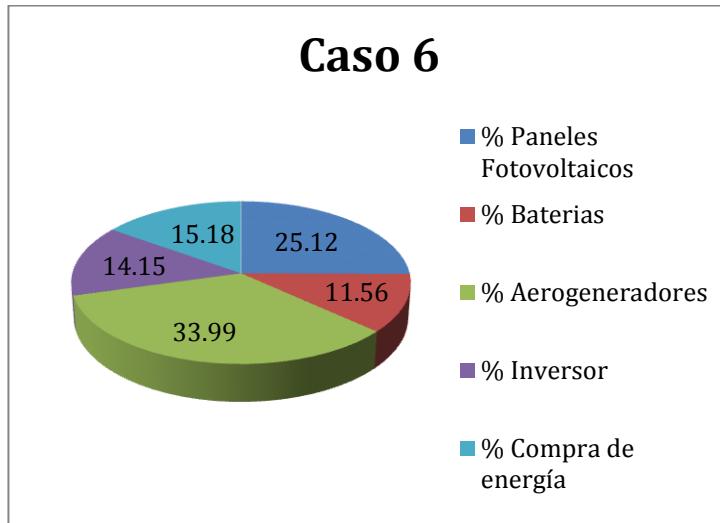


Gráfico 6.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 90.756 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 52.569 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 26.252 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 23.454 kWh/año.
- Energía comprada a Red: 43.408 kWh/año.
- Energía vendida a Red: 18.668 kWh/año.

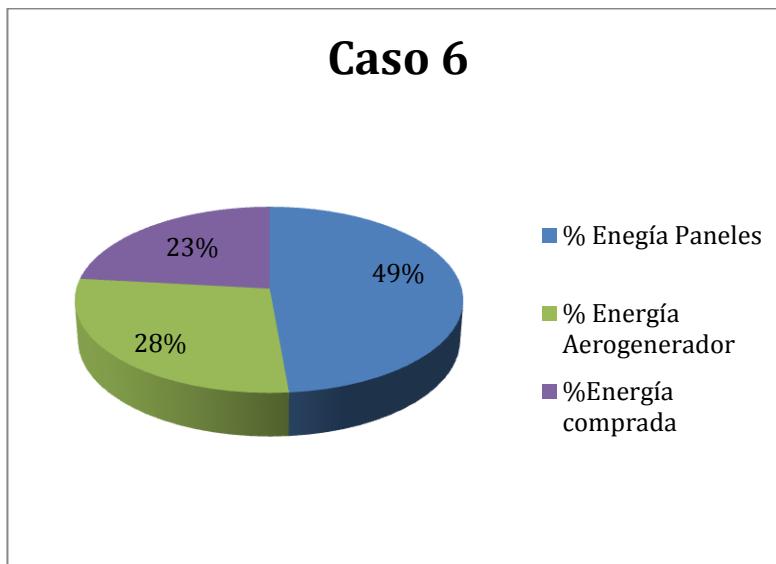


Gráfico 6.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

En este caso la solución no plantea la instalación de generador Diesel, ya que como se ha podido comprobar en otros casos, el coste del combustible en un periodo de 25 años ascendía a cantidades muy elevadas, siendo en muchos casos prácticamente la mitad del coste total del sistema. Como en este caso se ha planteado la posibilidad de conectar la granja al suministro eléctrico, sería esta fuente la que actuaría en caso de que ni las fuentes renovables

ni la descarga de energía de las baterías pudieran satisfacer las necesidades de energía demandadas.

La venta de energía asciende a un total de 33.239€ en un periodo de tiempo de 25 años.

4.7. Con compra de energía

En este caso se va a suponer que se puede comprar energía eléctrica, pero no venderla. Se consideran los mismos precios establecidos para el caso anterior.

4.7.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - Composición de uno en serie por 7 en paralelo--> 70kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 550 A·h.
 - Energía total= 132 kWh.
 - Autonomía: 0,2 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 2 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50
 - Potencia total=144,95kW.

El coste total del sistema ascendería a 548.636€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,15€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 79.730€.
- Banco de baterías: 93.691€.
- Aerogeneradores: 179.115€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Gastos compra de energía: 85.627€.

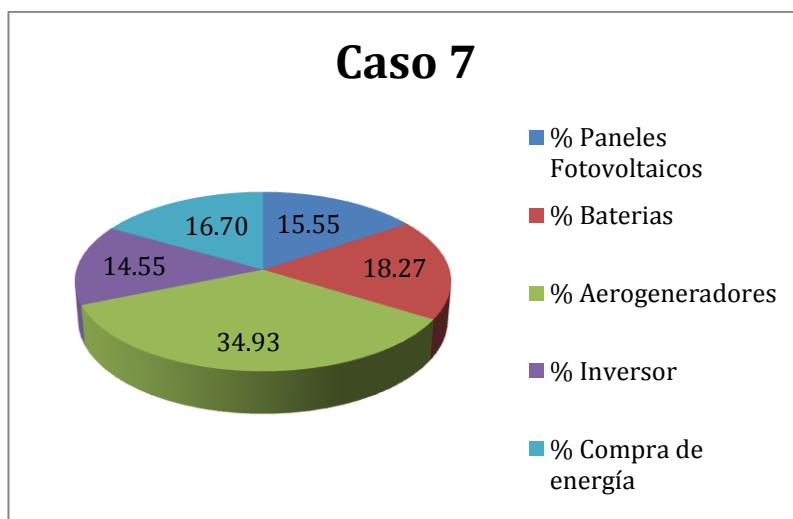


Gráfico 7.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 64.273 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 62.786 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 28.663 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 26.777 kWh/año.
- Energía comprada a Red: 43.947 kWh/año.

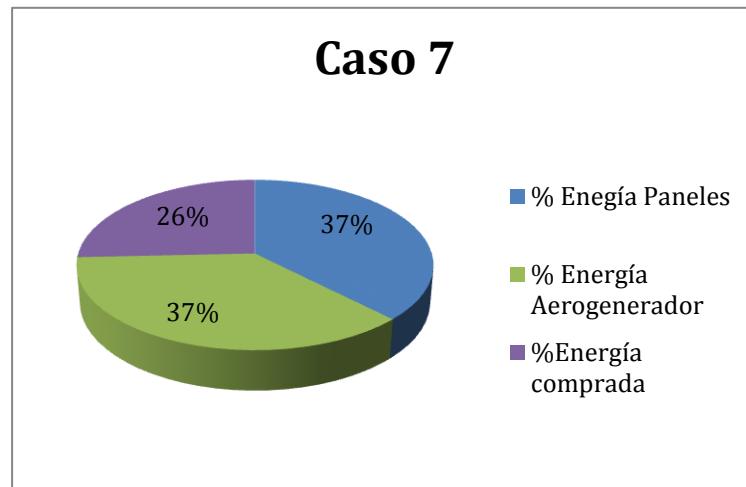


Gráfico 7.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.8. Granja ubicada en Bilbao

Se plantea el cambio de localización de la granja a la Provincia de Bilbao (Latitud:43,2622⁰; Longitud:-2,95333⁰), para estudiar cómo afectan las distintas condiciones climatológicas de la nueva localización, que en este caso son las que se muestran a continuación:

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria(Horizontal)	Presión atmosférica	Velocidad viento	Temperatura terrestre
	°C	%	kWh/m2/d	kPa	m/s	°C
Enero	8.0	71.7%	1.62	98.5	6.4	8.5
Febrero	8.2	71.0%	2.40	98.5	6.0	8.9
Marzo	10.1	66.1%	3.77	98.3	5.9	10.7
Abril	11.4	65.7%	4.83	97.9	5.7	12.3
Mayo	14.8	64.1%	5.80	98.0	4.7	16.0
Junio	18.1	62.8%	6.30	98.3	4.4	19.7
Julio	20.2	62.6%	6.31	98.3	4.7	22.0
Agosto	20.8	62.7%	5.55	98.2	4.5	22.5
Septiembre	19.0	62.0%	4.36	98.2	4.5	20.1
Octubre	15.9	64.9%	2.84	98.1	5.3	16.4
Noviembre	11.6	69.7%	1.75	98.2	5.9	12.1
Diciembre	9.2	72.4%	1.35	98.4	6.1	9.5

Fuente: web de la NASA

4.8.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 6 en paralelo--> 60kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TZS-20.
 - Capacidad nominal de 2800 A·h.
 - Energía total= 336 kWh.
 - Autonomía: 0,5 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 1 aerogenerador, modelo AC Northern Power 100.
 - Potencia total= 97,3kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 15kVA.

El coste total del sistema ascendería a 712.807€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,20€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 79.730€
- Banco de baterías: 104.977€
- Aerogeneradores: 340.344€
- Generador AC Diesel: 7.662€
- Coste inversor: 74594€
- Coste combustible Generador: 48.863€

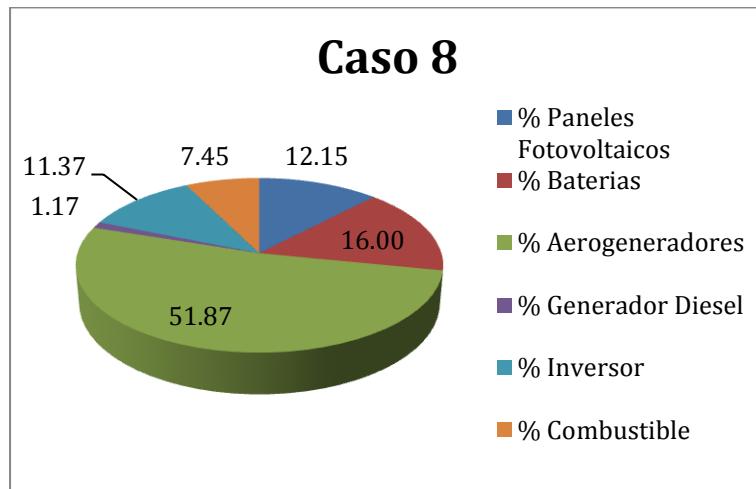


Gráfico 8.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 60.335 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 131 137 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 3 769 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 33 575 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 30 874 kWh/año.

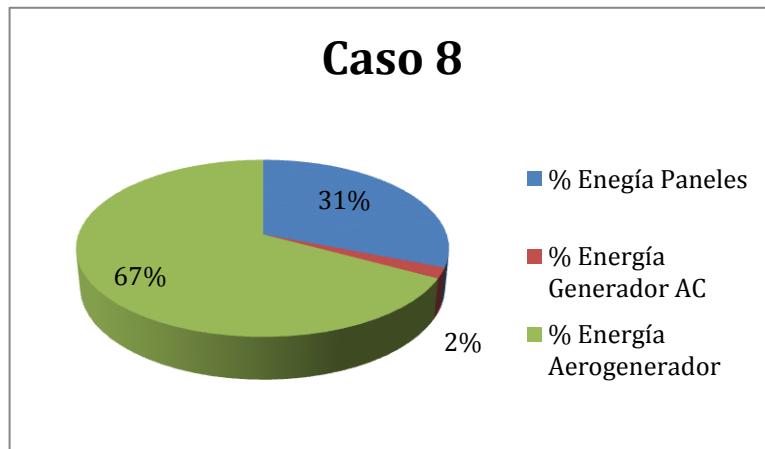


Gráfico 8.2: Distribución de la energía generada por el sistema

4.9. Granja ubicada en Almería

Se considera ahora que la granja es ubicada en la Provincia de Almería (Latitud: 36,8333⁰; Longitud: -2,45⁰, para ver cómo afecta en este caso el aumento de la irradiación y de la velocidad del viento, aunque en menor medida que para el caso de Bilbao, a lo largo del año, además de el cambio de altitud con caso de Ayllón (Segovia), que en este caso se encuentra a nivel del mar.

Los datos climatológicos son los siguientes:

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria(Horizontal)	Presión atmosférica	Velocidad viento	Temperatura terrestre
	°C	%	kWh/m2/d	kPa	m/s	°C
Enero	11.0	67.4%	2.73	98.5	4.7	11.9
Febrero	11.8	65.8%	3.58	98.4	5.0	12.9
Marzo	13.8	62.4%	4.82	98.1	5.0	15.2
Abril	15.8	56.8%	6.12	97.8	4.9	17.6
Mayo	18.7	56.7%	6.80	97.8	4.7	21.0
Junio	22.5	53.8%	7.61	98.0	4.7	25.3
Julio	25.1	52.5%	7.65	98.0	4.8	28.1
Agosto	25.6	54.4%	6.81	97.9	4.4	28.3
Septiembre	22.8	61.4%	5.40	98.0	4.2	25.0
Octubre	19.0	65.9%	3.91	98.1	4.2	20.5
Noviembre	15.0	67.2%	2.85	98.1	4.6	16.1
Diciembre	12.2	69.1%	2.38	98.4	4.8	13.1

Fuente: web de la NASA.

4.9.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott
 - 10.000 Wp
 - Composición de uno en serie por 7 en paralelo--> 70kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TZS-13.
 - Capacidad nominal de 1940 A·h.
 - Energía total= 232,8 kWh.
 - Autonomía: 0,4 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 2 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50.
 - Potencia total= 144,954kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 20kVA.

El coste total del sistema ascendería a 670.384€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,18€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 92.887€.
- Banco de baterías: 104.504€.
- Aerogeneradores: 179.115€.
- Generador AC Diesel: 19.077€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 160.216€.

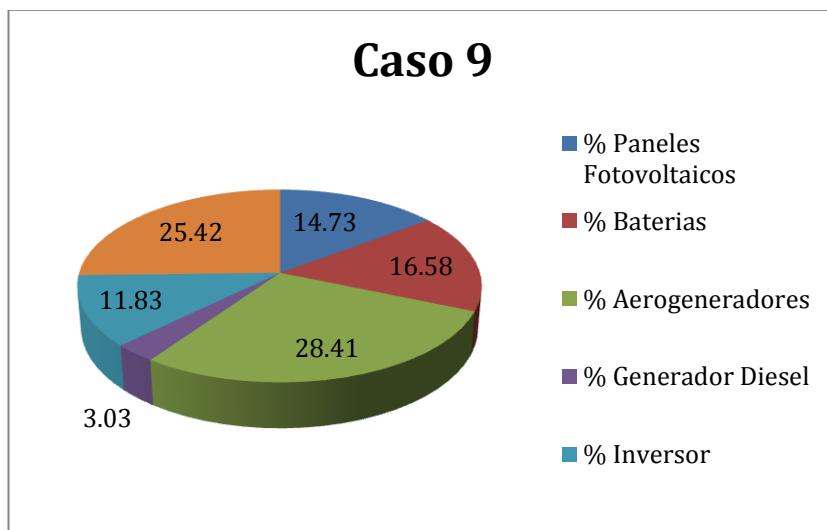


Gráfico 9.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos sistemas se divide en:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 86.123 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 96.960 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 12.095 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 35.899 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 32.919 kWh/año.

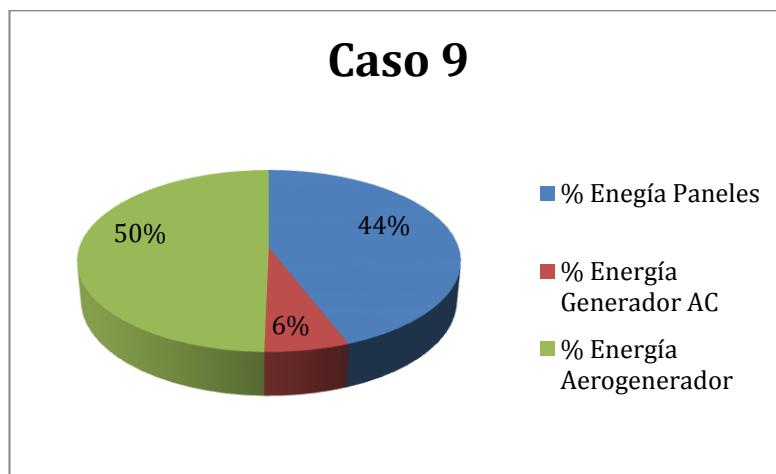


Gráfico 9.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.10. Utilización Gasóleo B

Se plantea la opción de poder utilizar Gasóleo B, siendo este un gasóleo con unas características técnicas muy parecidas al gasóleo A, e indicado para uso agrícola e industrial. Su precio es de 0,7 € por litro.

4.10.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 9 en paralelo--> 90kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 2 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50.
 - Potencia total= 144,954kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 20kVA.

El coste total del sistema ascendería a 849.829€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,23€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 119.202€.
- Banco de baterías: 94.559€.
- Aerogeneradores: 179.115€.
- Generador AC Diesel: 53.428€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 286.944€.

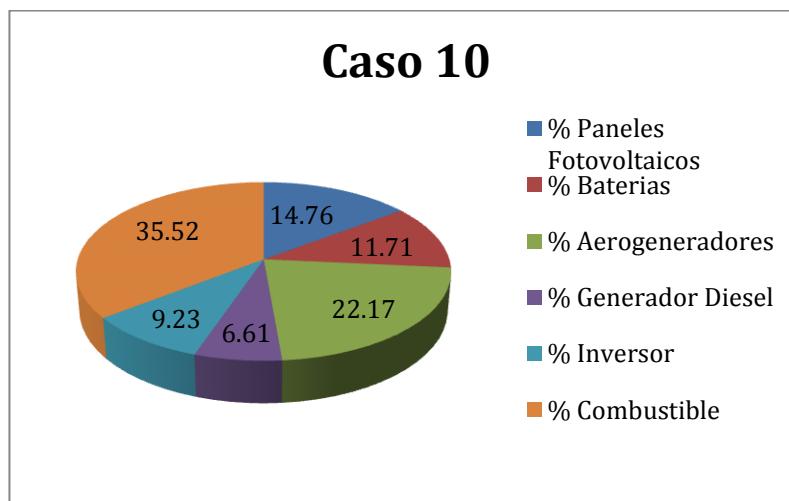


Gráfico 10.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos sistemas se divide en:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 86.577 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 52.950 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 37.107 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 35.809 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 33.214 kWh/año.

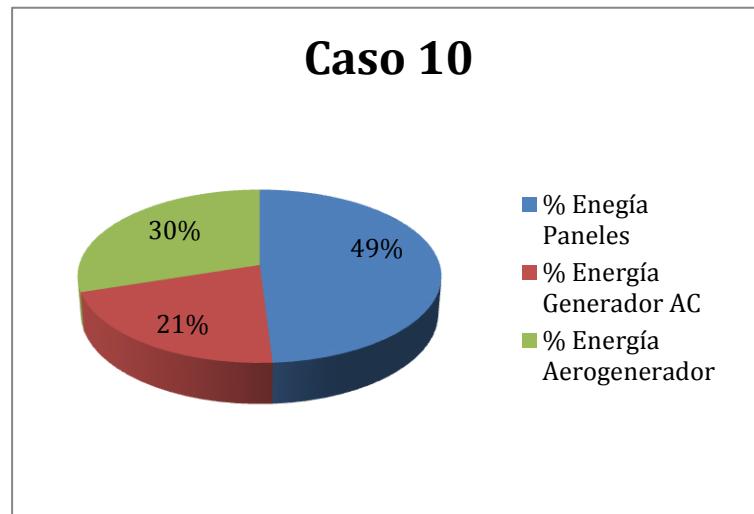


Gráfico 10.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.11. Utilización Gasoil B y disminución de la inflación

Como se ha comentado en el caso anterior, se plantea la posibilidad de utilizar Gasóleo B, además se combina con la posibilidad de que la inflación disminuyera al 3%.

4.11.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 7 en paralelo--> 70kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 1 aerogenerador, modelo DC Hummer HWP-50.
 - Potencia total= 72,48kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 20kVA.

El coste total del sistema ascendería a 566.072€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,15€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 119.202€.
- Banco de baterías: 94.559€.
- Aerogeneradores: 179.115€.
- Generador AC Diesel: 53.428€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 223.481€.

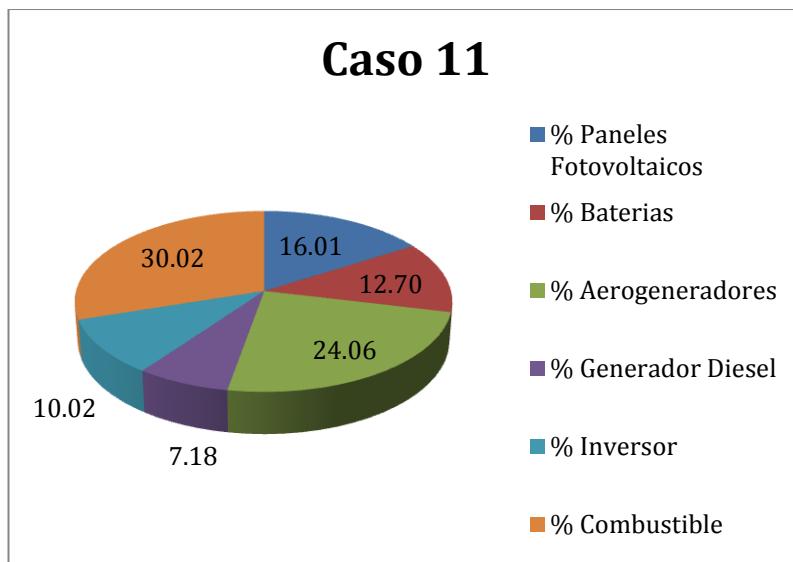


Gráfico 11.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos sistemas se divide en:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 86.577 kWh/año.
- Energía generada por los aerogeneradores: 52.950 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 37.107 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 35.809 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 33.214 kWh/año.

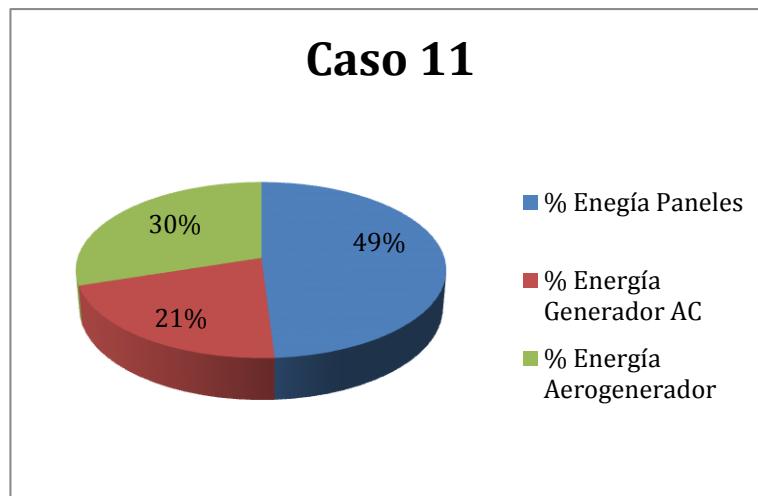


Gráfico 11.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.12. Disminución de la velocidad del viento

En este caso se va a aplicar un factor de escala de 0,5 a la velocidad del viento introducida para el caso de la granja ubicada en la localidad de Ayllón, como se muestra en la imagen siguiente:

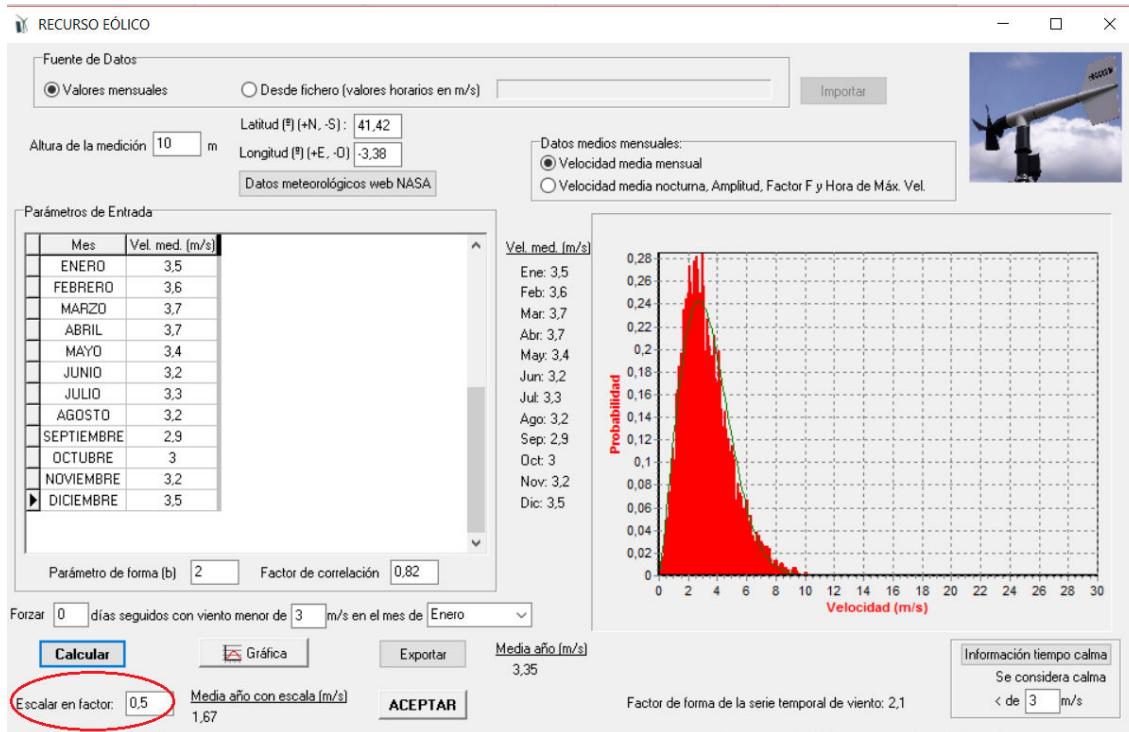


Imagen 5. Ventana de introducción de datos de viento (iHOGA).

4.12.1. Resultados.

- ✓ **Paneles PV:**
Modelo aSi-12-Schott.
10.000 Wp.
Composición de uno en serie por 13 en paralelo--> 130kWp.
- ✓ **Baterías:**
Modelo OPZS-Hawker:TYS-7.
Capacidad nominal de 816 A·h.
Energía total= 97,9 kWh.
Autonomía: 0,2 días.
- ✓ **Generador AC Diesel:**
Potencia nominal de 10kVA.

El coste total del sistema ascendería a 888.249€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,32€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 171.832€.
- Banco de baterías: 106.063€.
- Generador AC Diesel: 51.683€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 454.682€.

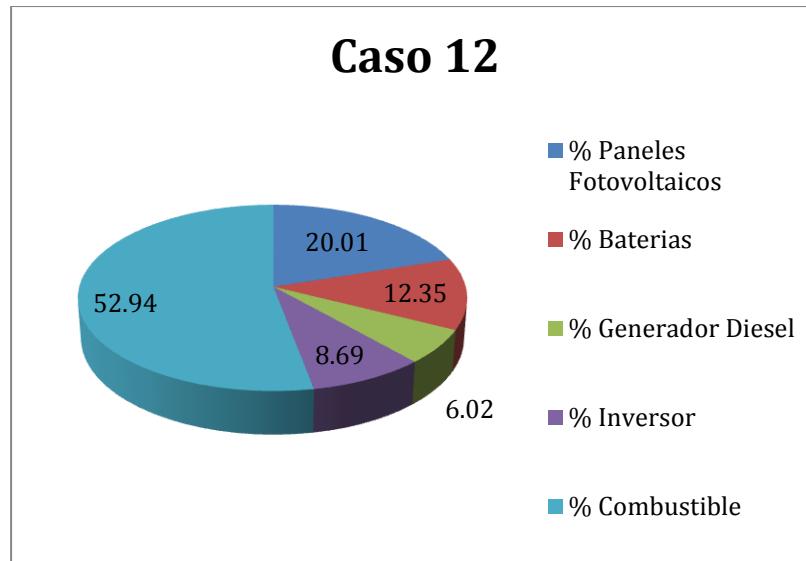


Gráfico 12.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 99.432 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 36.829 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 27.295 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 24.766 kWh/año.

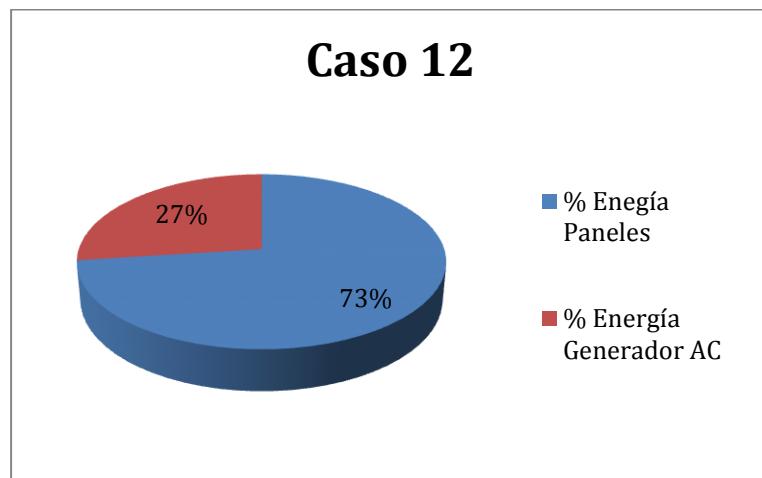
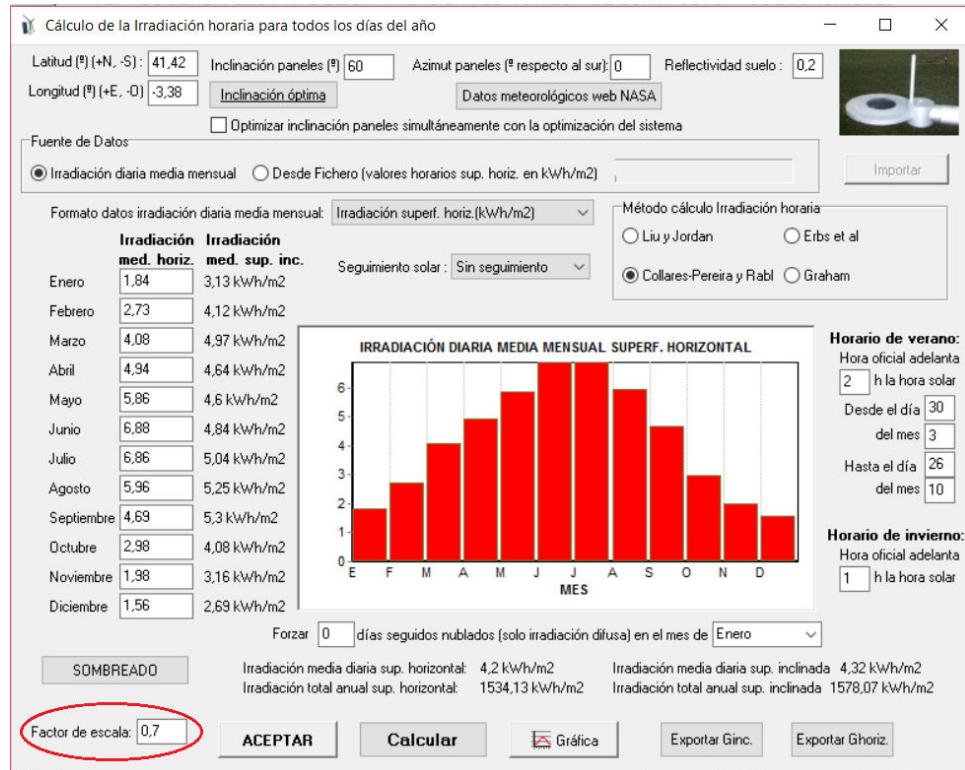


Gráfico 12.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.13. Disminución de la irradiación

En este caso se va a aplicar un factor de escala de 0,7 a la irradiación introducida para el caso de la granja ubicada en la localidad de Ayllón, como se muestra en la imagen siguiente:



4.13.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 12 en paralelo--> 120kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TYS-12.
 - Capacidad nominal de 1.340 A·h.
 - Energía total= 160,8 kWh.
 - Autonomía: 0,3 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 2 aerogeneradores, modelo DC Hummer HWP-50.
 - Potencia total= 144,954kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 10kVA.

El coste total del sistema ascendería a 848.541€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,26€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 158.675€.
- Banco de baterías: 118.211€.
- Aerogeneradores: 179.115
- Generador AC Diesel: 28.836€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 243.056€.

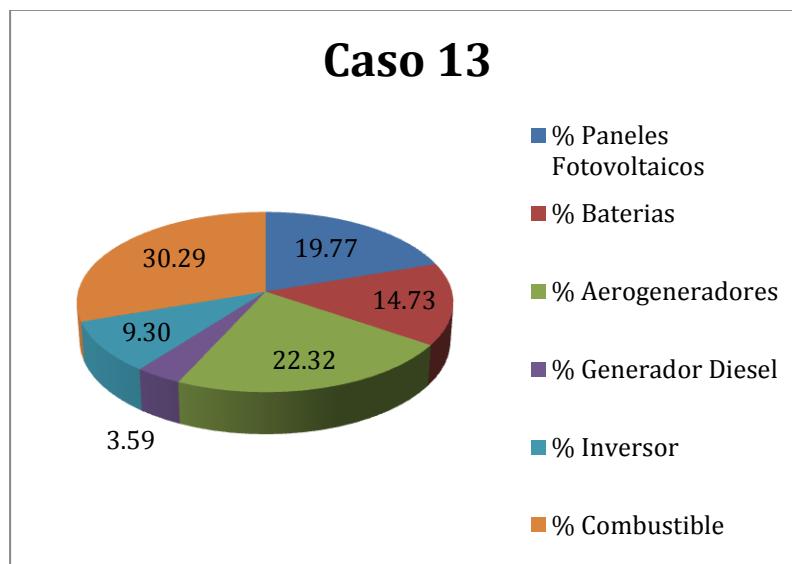


Gráfico 13.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 83.437 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 19.434 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 34.752 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 32.486 kWh/año.

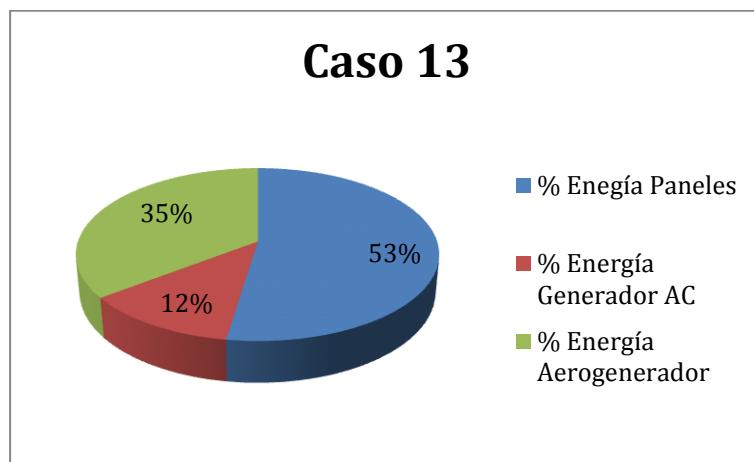


Gráfico 13.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

4.14. Disminución de la irradiación y disminución del precio del gasoil

En este caso se va a aplicar también un factor de escala de 0,7 a la irradiación introducida para el caso de la granja ubicada en la localidad de Ayllón, y se va a reducir el precio del gasoil a 1€/litro.

4.14.1. Resultados.

- ✓ Paneles PV:
 - Modelo aSi-12-Schott.
 - 10.000 Wp.
 - Composición de uno en serie por 10 en paralelo--> 100kWp.
- ✓ Baterías:
 - Modelo OPZS-Hawker:TVS-7.
 - Capacidad nominal de 550 A·h.
 - Energía total= 132 kWh.
 - Autonomía: 0,2 días.
- ✓ Aerogeneradores:
 - 1 aerogenerador, modelo DC Hummer HWP-50.
 - Potencia total= 72,477kW.
- ✓ Generador AC Diesel:
 - Potencia nominal de 10kVA.

El coste total del sistema ascendería a 778.451€ y el coste actualizado de la energía suministrada a 0,26€.

El coste a los 25 años del sistema se divide en:

- Grupo fotovoltaico: 132.360€.
- Banco de baterías: 93.768€.
- Aerogeneradores: 89.557€.
- Generador AC Diesel: 46.594€.
- Coste inversor: 74.594€.
- Coste combustible Generador: 307.458€.

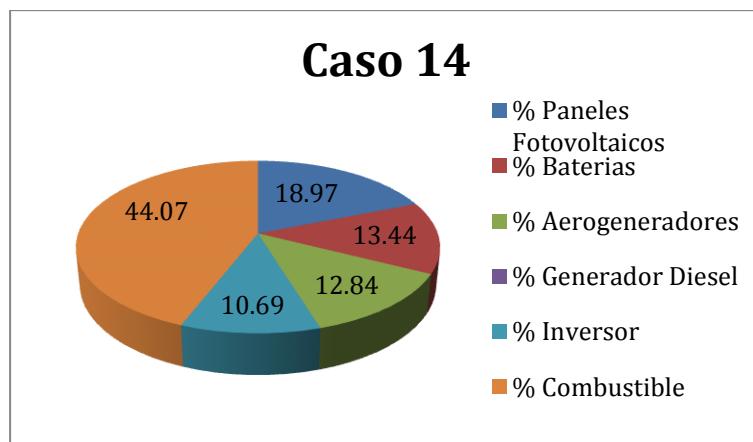


Gráfico 14.1: Distribución de los costes totales del sistema.

La energía generada por los distintos elementos es:

- Energía generada por los paneles fotovoltaicos: 83.437 kWh/año.
- Energía generada por el Generador AC: 19.434 kWh/año.
- Energía generada por el Aerogenerador: 35.571 kWh/año.
- Energía cargada en las baterías: 34.752 kWh/año.
- Energía descargada desde las baterías: 32.486 kWh/año.

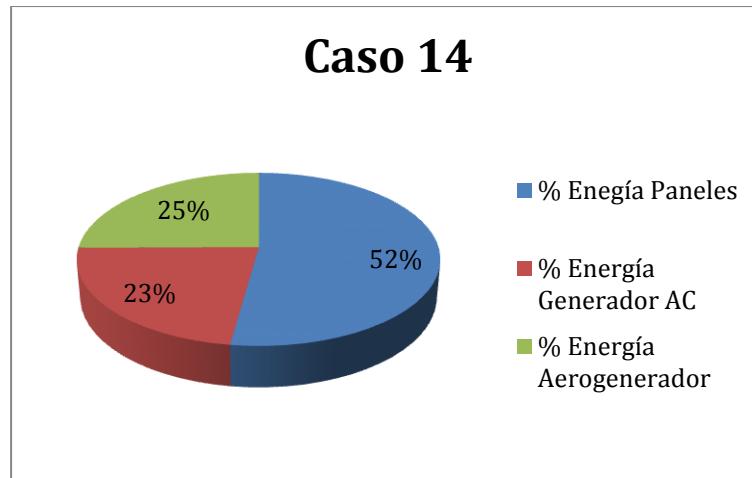


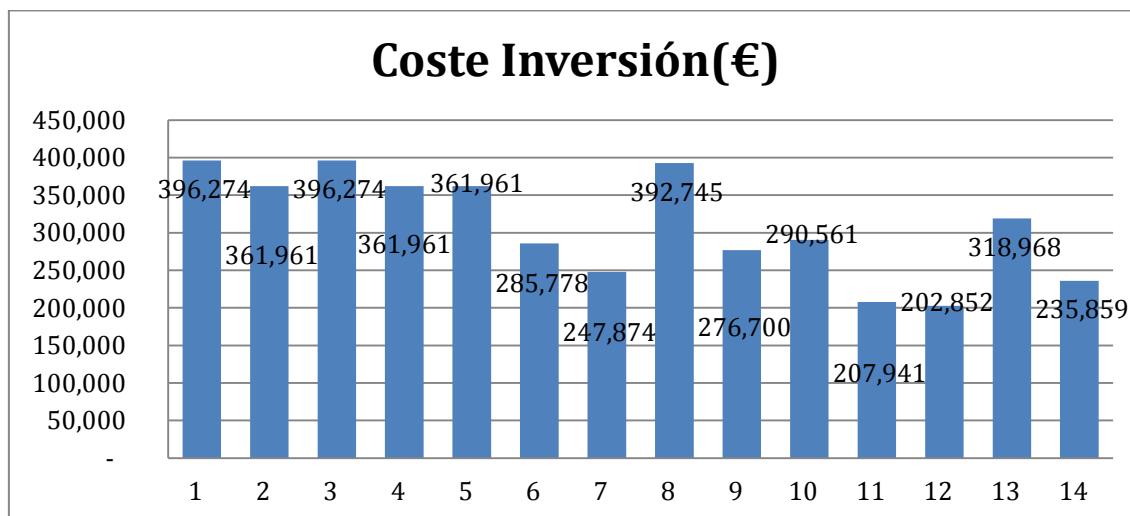
Gráfico 14.2: Distribución de la energía generada por el sistema.

5. Comparativa de los resultados.

A continuación se va a realizar una comparativa de los resultados obtenidos anteriormente. En las distintas gráficas se muestran en el eje de abscisas los distintos casos estudiados (en el apartado anterior se especifica que número de caso es cada uno), y en el eje de ordenadas el parámetro de estudio que se especifique en cada punto

5.1. Coste total e inversión inicial

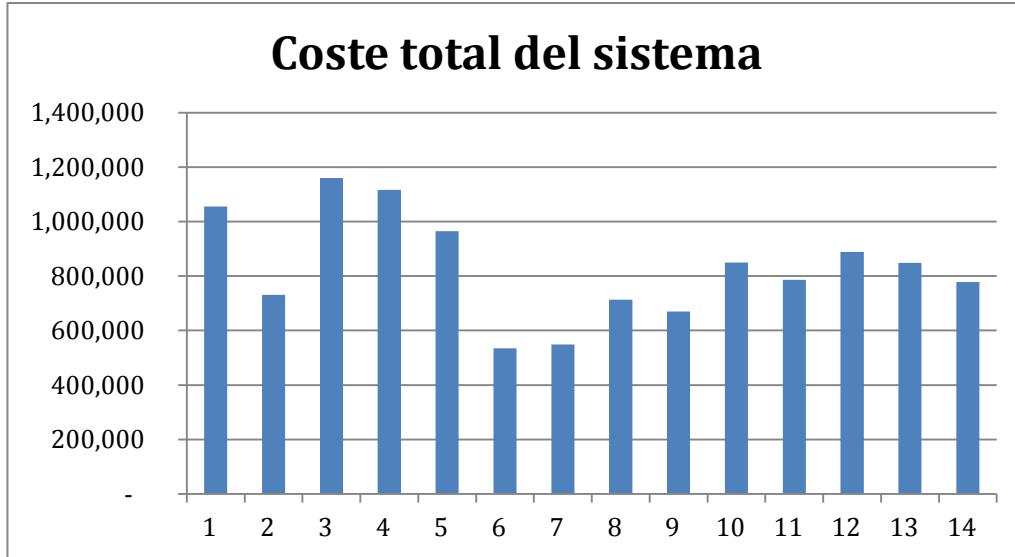
La inversión inicial necesaria para implantar en los distintos casos cada uno de los sistemas óptimos obtenidos sería la que se muestra a continuación:



Gráfica 15. Inversión inicial de cada uno de los casos.

En los casos que se ha obtenido el mismo sistema como resultado (el mismo número de paneles, el mismo modelo y número de aerogeneradores, el mismo modelo de baterías y de generadores), la inversión inicial es la misma, como se puede observar que ocurre en los casos 1 y 3, o en los casos 2, 4 y 5.

A continuación se muestra una grafica con las inversiones totales de todos los casos estudiados anteriormente, en un periodo de 25 años:



Gráfica 16. Coste total del sistema cada uno de los casos.

El desglose del coste total sería el siguiente:

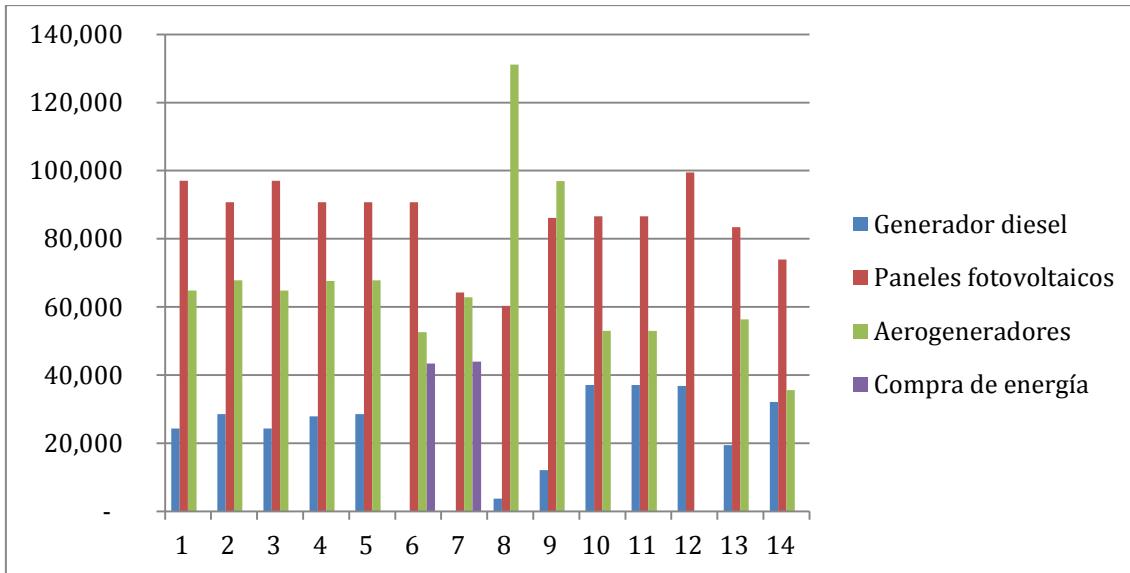
- Coste adquisición aerogeneradores.
- Coste adquisición paneles fotovoltaicos.
- Coste adquisición inversor.
- Coste adquisición banco de baterías.
- Coste de combustible.
- Coste de mantenimiento de los sistemas.

Como se puede observar la menor inversión se realizaría para el caso en el que se valora la opción de comprar y vender la energía, siendo esta la inversión de 535.056€, por lo que este caso sería el más óptimo económico.

La diferencia con el caso de solo poder comprar a la red (además de las energías renovables), reside en que al poder vender la energía se obtiene unos beneficios, además de que en el caso 6v(compra y venta) el resultado óptimo que se ha obtenido es con mayor número de paneles fotovoltaicos, por lo que será necesario comprar menor cantidad a la red.

5.2. Energía generada.

En el gráfico siguiente se muestra la cantidad de energía que genera cada sistema en los distintos casos que han sido estudiados:



Gráfica 3. Energía generada por los distintos sistemas

Como se puede observar en la gráfica 3, en la mayor parte de los casos el grueso de la generación recae sobre los paneles fotovoltaicos. Esto es debido a que el coste de adquisición y mantenimiento es menor que para los generadores diesel y los aerogeneradores.

Nombre	Tensión nominal	Intens. cortoc.	Potencia nominal	Coste de adquisición	Coste O&M unitario	Vida esperada	TONC	Coef. T ²	Emisiones CO ₂ fabricación y recic.
Nombre	[V]	[A]	[Wp]	[€]	[€/año]	[años]	[°C]	(%/°C)	(kgCO ₂ equiv./kWp)
aSi12-Schott: grande	120	67,9	10000	11000	110	25	49	-0,2	800

Imagen 7. Paneles fotovoltaicos y características (iHOGA).

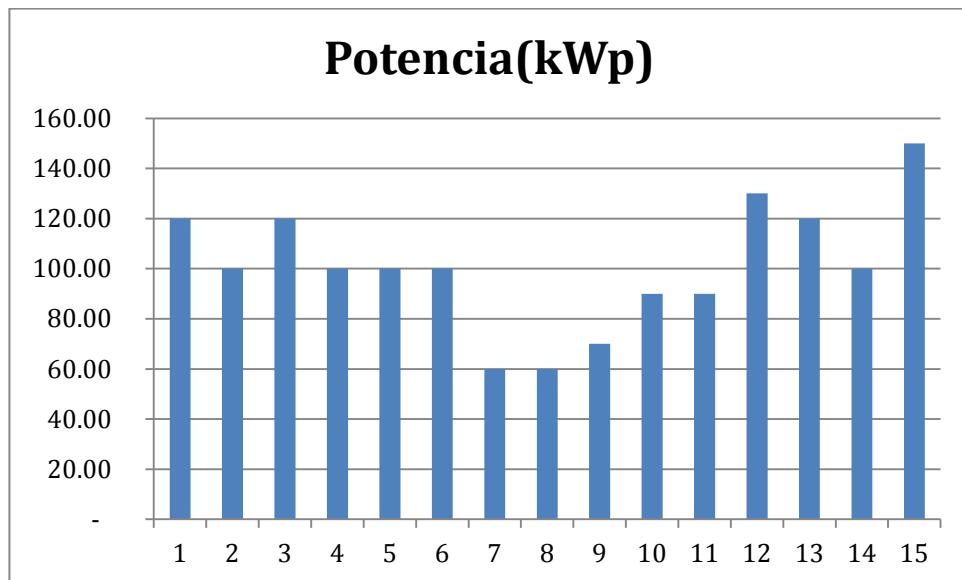
	Nombre	Tipo	Coste (€)	C. Reemp. (€)	C. O&M (€/año)	Vida (años)	Altura (m)	Emis. CO ₂ (kg)
	Cero	DC	0	0	0	100	10	0
	Northern Power 100	AC	231000	200000	4000	20	37	30000
	Hummer: HWP-50	DC	59000	48000	1180	20	22	20000

Imagen 82. Aerogeneradores y características (iHOGA).

Los costes de todos los sistemas posibles se encuentran en el anexo III, tabla 2.

En los únicos casos que es superior la energía generada por los aerogeneradores que por los paneles fotovoltaicos es para los casos 8, 9 y 10, que corresponden respectivamente a granja ubicada en Bilbao, granja ubicada en Almería y utilización de gasóleo B con una inflación del 3%. Esto es debido a que tanto en Bilbao como en Almería la velocidad media del viento en el año es de 5,34m/s y 4,67m/s respectivamente, siendo superior que en la localidad actual de la granja (Ayllón) que es de 3,35m/s. Por lo que podemos concluir que la velocidad del viento es una característica determinante y que afecta en gran medida a la selección de un sistema óptimo u otro.

En los casos en que se ha aplicado un factor de escala para la reducción de la irradiación incidente, se observa que el software estima como sistema fotovoltaico óptimo uno en el que añade mas paneles en paralelo. Esto se puede comprobar realizando otro caso en el que se disminuye aun mas este factor. Se ha realizado con un factor de 0,5 y la solución óptima de paneles fotovoltaicos que ofrece es con 15 paneles en paralelo (se añaden los resultados de dicho estudio en el anexo II). Esto se puede comprobar en la gráfica 17:



Gráfica 17. Potencia en kilowatios pico de los paneles fotovoltaicos.

En los casos 6,7 y 8 son en los que menor número de paneles fotovoltaicos se instalarían, esto se debe a que:

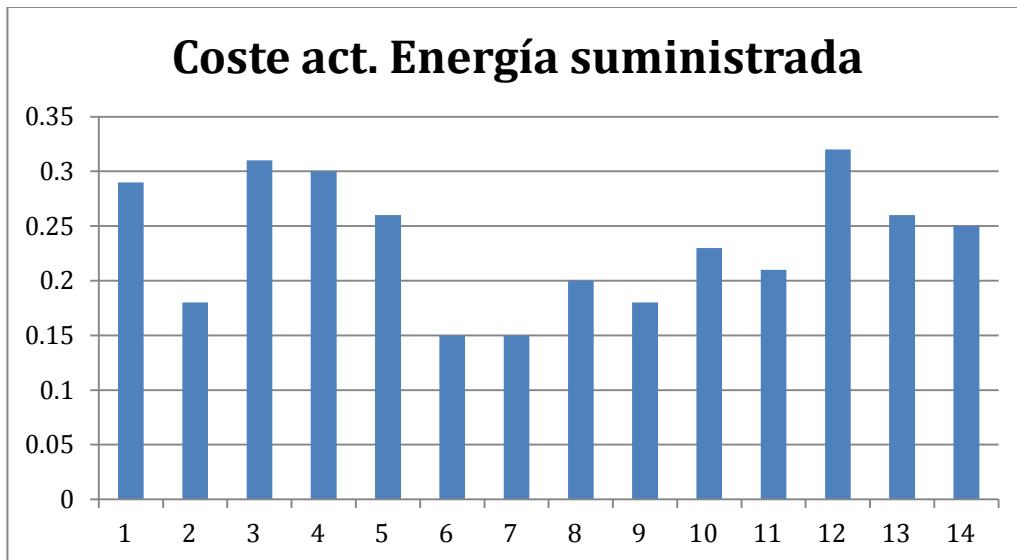
-Para los casos 6 y 7 se ha planteado la opción de compra de energía, este método de obtención de energía resulta más barato, por lo que se reducen la fuentes de energía renovables a instalar.

-Para el caso 8, que es el caso de ubicación en Bilbao, como se ha comentado anteriormente, la velocidad del viento es superior que en los demás casos, por lo que es más eficiente invertir más en aerogeneradores que en el resto de sistemas.

Se observa un aumento de los paneles fotovoltaicos en el caso 12, ya que al ser el caso en el que se ha introducido el factor de escala de 0,5 para la velocidad del viento y el software ha considerado no instalar aerogeneradores, el sistema ha aumentado el número de paneles para así suplir la energía que podía ser generada por los aerogeneradores.

5.3. Coste actualizado de la energía

Con este parámetro se pretende mostrar el precio que se obtendría por kWh tras los costes obtenidos y la cantidad de energía generada a lo largo de los 25 años. En la gráfica 18 se muestran dichos resultados:



Gráfica 18. Coste actualizado de la energía suministrada.

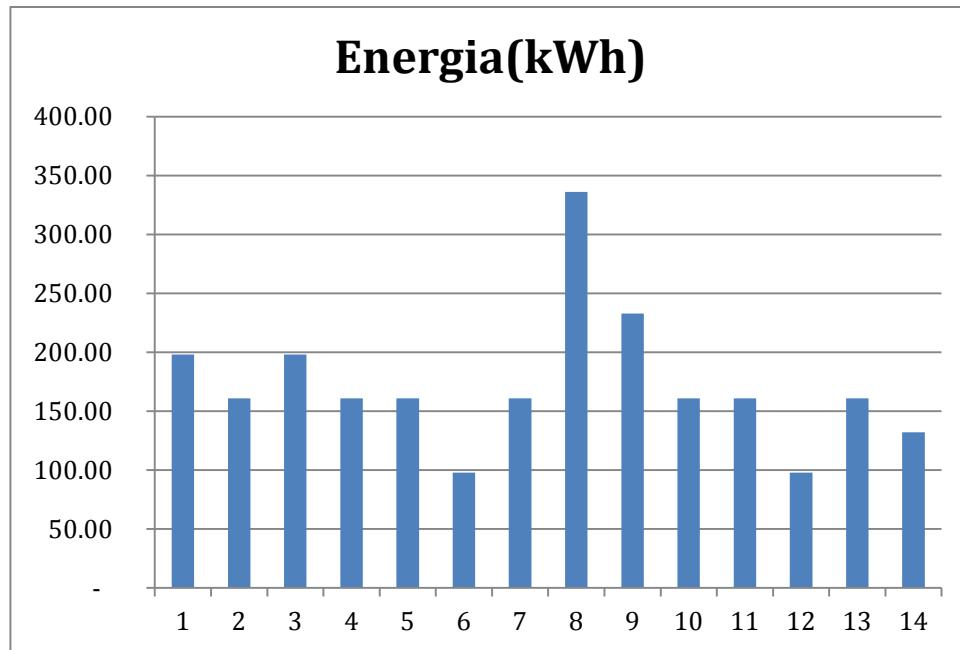
Como se observa en la gráfica 18 los menores coste de energía se obtienen en los casos 6 y 7, que son en los que se considera el poder conectar al suministro eléctrico la granja.

En los casos en los que no se valora esta opción, los que menor coste tienen son el caso de la granja ubicada en Almería (caso 9) y el caso inicial con una disminución de la inflación del combustible (caso 2). Esto se debe en ambos casos a que el coste de combustible en el periodo de estudio (25 años) es mucho menor, lo que hace que los costes disminuyan, ya que por lo general el combustible es uno de los gastos mayores.

En cuanto al caso 12, como ya se ha comentado anteriormente, no se obtiene un sistema que contenga aerogeneradores, por lo que el resto de sistemas instalados deben compensar este hecho generando más energía. Esto implica que aumenta la necesidad de combustible a un valor de 454.682€, que es más de la mitad de los costes totales.

5.4. Baterías

En la gráfica 19 se muestra la energía de almacenamiento que tienen las baterías seleccionadas por el software para cada uno de los casos.



Gráfica 18. Coste actualizado de la energía suministrada.

Se observa en la gráfica 19 que el caso 8 es en el que mayor capacidad de almacenamiento necesitan las baterías, esto se debe a que es el caso en el que más energía se genera en los equipos 195.241 kWh, además de que en este caso el generador diesel genera el que menos energía (siendo este sistema, como ya se ha comentado, un sistema auxiliar para los casos en los que ni baterías ni energías renovables pueden alimentar la demanda exigida por la granja). En los casos que menor capacidad de almacenamiento se necesita en el caso de compra y venta y en el caso de reducción del viento, ya que para este segundo caso no se considera la instalación de aerogeneradores, por lo que la generación de energías renovables es menor, lo que implica que se necesita almacenar menor cantidad de energía en las baterías.

6. Conclusiones

El objetivo era encontrar una optimización para la granja expuesta, habiéndose realizado a lo largo del trabajo diversos casos, se puede extraer como mejor solución la opción de conectar la granja al suministro eléctrico(aunque hubiera que invertir en la conexión a la red) y añadir energías renovables (eólica y solar), cuya solución se ha detallado en apartados anteriores, obteniéndose muy buenos rendimientos y una inversión menor.

En cuanto a la influencia de velocidad del viento, inflación y precio de combustible, se van a tratar las conclusiones extraídas a continuación:

-Velocidad del viento: como es de suponer, a mayor velocidad de viento, mayor es la energía generada por los aerogeneradores(como se ha comprobado en el caso en el que se ubica la granja en la localidad de Bilbao, que es el caso que mayor velocidad de viento a lo largo del año presenta). También se observa este hecho en el caso de la granja en Almería, ya que en esta otra ubicación la velocidad también es superior a la del caso inicial. Obteniéndose tanto para Bilbao como para Almería valores de energía muy superiores con respecto al resto de casos estudiados.

-Precio del combustible: como se ha comentado y detallado en apartados, el precio del combustible influye sobre todo en el coste total del sistema, también supone un aumento utilización del generador diesel cuando el precio disminuye. En el caso de que el precio del combustible se reduzca mucho(como es el caso de la utilización de gasóleo B) se observa un efecto más acusado, lo que implica una reducción de la generación de los aerogeneradores y de los paneles fotovoltaicos.

-Inflación combustible: en cuanto a la inflación del combustible se puede concluir que solo afecta para los casos en los que el precio es más elevado, ya que para el caso de utilización de gasóleo B los sistemas óptimos obtenidos han resultado ser los mismo, con la única diferencia de los costes totales en el periodo de 25 años. Sin embargo, cuando el precio del combustible es de 1,3€/l si que ha obtenido una solución distinta cuando la inflación ha disminuido, ocurriendo lo mismo que en el caso de disminuir el precio del combustible.

Así pues se puede concluir que aunque las energías renovables sean algo aleatorio (ya que depende de la meteorología) es una solución optima para el suministro eléctrico, sobre todo para consumos elevados, ya que así se pueden reducir costes. Pero también es necesario la incorporación de baterías para un trabajo óptimo, además de otro tipo de energía de respaldo (ya sea generadores diesel o conexión a la red eléctrica).

7. Referencias.

- [1] R. Dufo-López, I.R. Cristóbal Monreal, J.M. Yusta-Loyo. Optimisation of PV-wind-diesel-battery stand-alone systems to minimise cost and maximise human development index and job creation. *Renewable Energy* 94 (2016) 280-293.
- [2] J. Schiffer, D.U. Sauer, H. Bindner, T. Cronin, P. Lundsager, R. Kaiser, Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems, *J. Power Sources*. 168 (2007) 66–78. doi:10.1016/j.jpowsour.2006.11.092.
- [3] M. Gilli, D. Maringe, E. Schumann, *Numerical Methods and Optimization in Finance*, Academic Press, 2011.
- [4] J. Schiffer, D.U. Sauer, H. Bindner, T. Cronin, P. Lundsager, R. Kaiser, Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems, *J. Power Sources*. 168 (2007) 66–78. doi:10.1016/j.jpowsour.2006.11.092.