



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio técnico, económico y medioambiental de
una instalación renovable aislada de la red.
Technical, economic and environmental study of a
renewable installation isolated from the grid.

Autor/es

Pablo García Lapuente

Director/es

José Luis Bernal Agustín

Facultad / Escuela

Año

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2017



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).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Pablo García Lapuente

con nº de DNI 73230063-H 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)

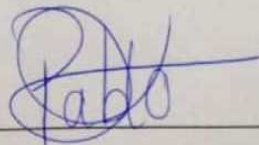
Estudio técnico, económico y medioambiental de una instalación renovable aislada de la red.

Technical, economic and environmental study of a renewable installation isolated from the grid.

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

Zaragoza, a 20 de Noviembre de 2017

Fdo:



Estudio técnico, económico y medioambiental de una instalación renovable aislada de la red

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una instalación renovable para una vivienda rural que se encuentra aislada de la red eléctrica.

Para ello se ha realizado un estudio de la disponibilidad de dos recursos renovables, como son la energía solar fotovoltaica y la eólica-

Para el dimensionado de los diferentes elementos que conforman la instalación se han utilizado dos metodologías diferentes. En primer lugar, el pliego de condiciones técnicas del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), para después obtener una solución más precisa con el software Homer Energy.

Durante el diseño se utilizan los siguientes elementos: paneles fotovoltaicos, generadores eólicos, inversores, baterías, generadores diésel y aquellos elementos auxiliares que deben incluirse en una instalación de este tipo.

Se han considerado parámetros técnicos y económicos así como la repercusión medioambiental de los mismos.

Índice

1. Introducción
 - 1.1 Objeto
 - 1.2 Alcance
 - 1.3 Contexto
 - 1.4 Ubicación
 - 1.5 Legislación aplicable

2. Cargas de consumo

3. Kit de referencia

4. Recurso eólico

5. Recurso solar

6. Dimensionado método del IDAE
 - 6.1 Paneles fotovoltaicos
 - 6.2 Regulador/inversor
 - 6.3 Banco de baterías

7. Dimensionado método Homer Energy
 - 7.1 Inputs de parámetros
 - 7.2 Análisis de sensibilidad
 - 7.3 Optimización de los elementos de la instalación
 - 7.4 Mejoras individuales de la instalación
 - 7.4.1 Generador Diésel
 - 7.4.2 Baterías AGM
 - 7.4.3 Paneles de silicio monocristalino
 - 7.5 Análisis económico y conclusiones

8. Bibliografía

9. Anexos
 - 9.1 Dimensionado de los cables
 - 9.2 Selección de protecciones
 - 9.3 Fichas técnicas de los elementos de la instalación
 - 9.4 Anteproyecto acometida a la red

1) Introducción

1.1) Objeto

Mientras que la tecnología y la energía renovable van incrementando su peso en el interés público, la demanda de este tipo de sistemas, cada vez más eficientes, sigue aumentando. Para ello es necesario entender cómo funcionan estos sistemas y profundizar detalladamente en sus peculiaridades.

El principal objetivo de este proyecto es el análisis del de una instalación renovable híbrida (solar fotovoltaica y minieólica) aislada de la red eléctrica en el medio rural. Se ha estudiado varias alternativas, eligiendo la más económica que cumpla los requisitos energéticos de la vivienda durante todo el año.

1.2) Alcance

El presente proyecto contempla el estudio de todos los elementos que se utilizan diariamente en la vivienda, como la televisión, el frigorífico o la bomba de calor. Por otro lado, los elementos que se van a instalar son los siguientes:

- Paneles fotovoltaicos
- Aerogenerador
- Generador diésel y gasolina
- Baterías
- Regulador
- Inversor
- Cables conductores
- Elementos de protección

Se abordarán valores de diseño técnicos, económicos y medioambientales, para que la suma de todos ellos formen una instalación bien dimensionada, eficiente, segura, respetuosa con el medioambiente y técnicamente realizable.

Con los resultados de dimensionado, las fichas técnicas de los elementos y las instrucciones de montaje proporcionadas por el fabricante, se podría llevar la instalación a la práctica, cumpliendo los requisitos preestablecidos.

1.3) Contexto

España es, a buen seguro, una fuente de energía solar y eólica, como queda recogido en las figuras 1 y 2.

Se puede apreciar que la radiación incidente es de 1480 kWh/m²/año, mientras que las horas de sol ascienden a 2724.



Figura 3: Rachas de viento semana 43 del año 2017 en el valle del Ebro
Fuente: Aragón Televisión

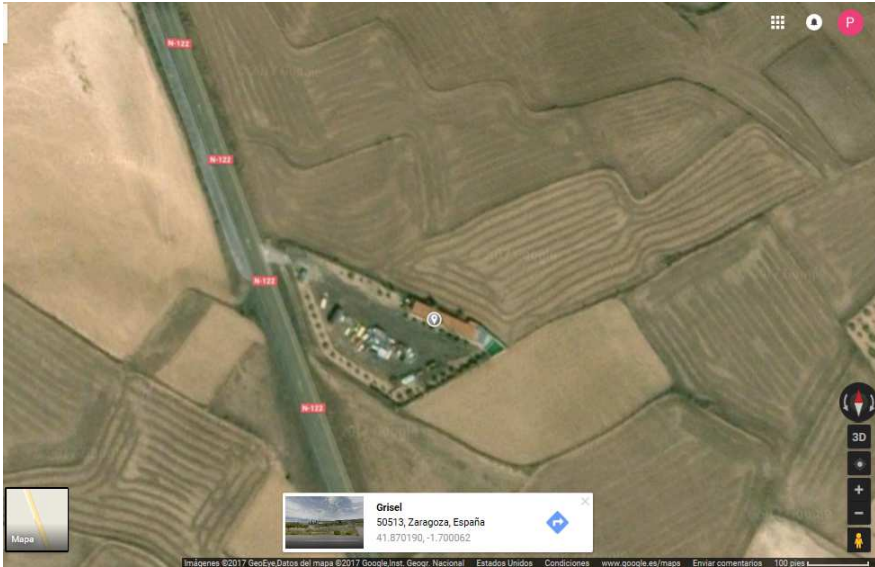
1.4) Ubicación

Se trata de una vivienda rural, de construcción reciente, con dos plantas y capacidad para vivir una familia. Actualmente sólo se le da uso esporádico en época estival y algún fin de semana, debido a que carece de suministro eléctrico. Dispone de un pequeño grupo electrógeno para los consumos básicos. Con la nueva instalación se usaría como vivienda principal durante todo el año.



Figura 4: Foto de la vivienda rural
Fuente: Elaboración propia

A continuación se realiza la geolocalización de la vivienda con la herramienta "Google Maps", con objetivo de obtener una visión en planta de la parcela y las coordenadas del emplazamiento que más adelante se emplearán para obtener información en las bases de datos.



Latitud	41º 87'
Longitud	-1º 7'
Altitud	450 m

*Figura 5: Vista en planta de la parcela y coordenadas
Fuente: Google Maps*

1.5) Legislación aplicable

Las leyes y normativas en las cuales se basa este proyecto son las siguientes:

- Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el REBT
- Pliego de condiciones técnicas para instalaciones aisladas publicado por el IDAE.
- Orden del Ministerio de Industria y Energía. 29/03/1996.
- Ordenanzas municipales
- Orden del Ministerio de Industria y Energía. 17/11/1989. Modificación del R.D. 245/1989, 27/02/1989.

2) Cargas de consumo

Un hogar medio en España consumo en torno a 3000 kWh anualmente según datos del IDAE. Sin embargo, el caso estudio al tratarse de una vivienda rural, se considera un consumo algo reducido en comparación con la media. Para conocer un consumo eléctrico estimado se van a analizar los elementos que consumen energía en la vivienda empleando las referencias de otros estudios más generalizados.

Vamos a realizar una estimación de la energía que van a consumir las cargas presentes en la instalación a lo largo del año. En primer lugar se adjunta el cálculo para el mes de

diciembre, que se trata del período de mayor consumo de la vivienda, por ejemplo debido al mayor uso de las luminarias o la bomba de calor.

Tipo	Descripción	Wattios	Voltaje	Cantidad	Horas/Día	Días/Semana	w.h/Día	w.h/Semana	
Iluminación	Lampara Philips Master PL-electronic 20w 1175 lm	20	230	2	3,00	7	120	840	
Iluminación	Lampara Philips Master PL-electronic 27w 1800 lm	27	230	3	3,00	7	243	1701	
T.V./ DVD	Televisor LG 22lu5000zb 22 pulgadas LCD	90	230	1	2,00	7	180	1260	
P.C.	Sobremesa Athlon xp 2400	110	230	1	2,00	4	220	880	
Lavadora	Lavadora Balay 3TS-52100 A 5kg bitermica	250	230	1	1,00	2	250	500	
Nevera	Combi frigorífico/ congelador bosch kgn49h10 A+ 389 Litros	120	230	1	4,00	7	480	3360	
Bomba	Bomba presión Shurflo 2088-443-144 10,7 lpm	109	230	1	2,00	7	218	1526	
Microconsumos	Amplificador antena mastil generico	4	230	1	24,00	7	96	672	
Microconsumos	Alarma generica	20	230	1	24,00	7	480	3360	
Otros	Depuradora piscina 30m3	500	230	1	2,00	3	1000	3000	
Otros	Bomba del sistema de riego	250	230	1	1,00	7	250	1750	
Otros	Microondas+Horno	1500	230	1	0,50	2	750	1500	
Otros	Bomba de calor	900	230	1	1,50	7	1350	9450	
Total potencia instantánea		3900		Total W.h/Día		5637			
							Total Wh/semana		29799
							Total kwh/mes		119.196

Figura 6: Consumos del mes de diciembre
Fuente: Elaboración propia

Este será el período elegido para dimensionar la instalación, ya que se trata de las condiciones más desfavorables, donde existe el mayor consumo, y cuando menos radiación solar incidente existe.

Este consumo irá variando a lo largo de los meses del año, y presentará la forma de la Figura 7, donde el mayor consumo es en los meses de invierno, bajada brusca en el comienzo de la primavera en marzo y abril, y alcanzando el mínimo en mayo.

En los meses de verano se produce un repunte del consumo, por el uso de la bomba de calor en modo de aire acondicionado, la bomba de riego, o la depuradora, volviendo a alcanzar un mínimo en el mes de septiembre .

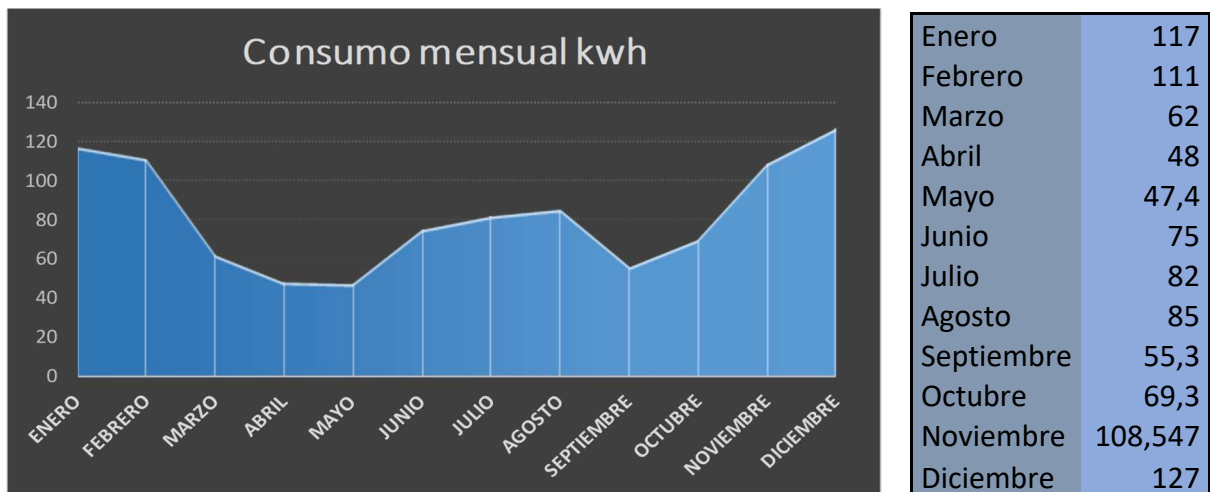


Figura 7: Perfil de consumo mensual
Fuente: Elaboración propia

3) Kit de referencia

Haciendo búsqueda por las diferentes tiendas online que ofertan kits de autoconsumo para viviendas aisladas de la red eléctrica, podemos tomar uno de ellos como referencia para nuestras necesidades particulares.

El elegido es un kit que ofrece la web autosolar, se trata de un kit híbrido aislado de la red, con todos elementos para el montaje de la instalación fotovoltaica y eólica.



- Kit Solar Eólico 5000W 24V 6400 Wh/día
- 4x Panel Solar 320W 24V Policristalino Waaree
- 2x Batería Solar 12V 260Ah Formula Star
- Inversor Cargador 5000VA 24V 80A ATERSA QUADRO
- Aerogenerador 600 W 24 V
- Estructura Cubierta Metálica KH915 .
- 5 metros de Cable RV-K 6mm2 PowerFlex de Top Cable
- 5 metro de Cable Verde RV-K 10mm2 PowerFlex de Top Cable
- 1 metro de Cable RV-K 50mm2 PowerFlex de Top Cable
- 1x Cable de 50mm2 para Interconexión de las diferentes baterías
- Repartidor y caja estanca para conexión de paneles

Figura 8: Kit de referencia

Fuente: Web AutoSolar

Se trata de un Kit bastante completo, que viene ya con todos los elementos listos para montar y empezar a funcionar.

Es la base que se ha utilizado en los apartados posteriores para el dimensionado específico de nuestra instalación, y así delimitar el amplio abanico de posibles productos que ofrece el mercado, que abarca desde paneles de apenas 5 Wp, hasta bancos de baterías de mas de 3000 Ah de capacidad.

4) Recurso eólico

En cuanto a la energía procedente del viento, se va a realizar un análisis de la velocidad media mensual, para así poder calcular la energía que produciría el aerogenerador que compone el kit y cuyas características se presentan en las Figuras 9 y 10. Anotar que se podría realizar un estudio mucho más detallado en lo referente a la energía eólica, utilizando rosas de vientos y tablas de frecuencias, sin embargo se descarta este análisis, ya que con el método de la media mensual se obtienen buenas aproximaciones.



- Uso en instalaciones renovables híbridas
- Buen rendimiento a velocidades moderadas de viento
- Diseñado para los vientos más habituales en España
- Potencia máxima de 600W a tan sólo 15 m/s
- Dispone de pantalla LCD y controlador de carga eólico a 24 V

Figura 9: Características del aerogenerador
Fuente: Fabricante EcoSolar Green Energy Products

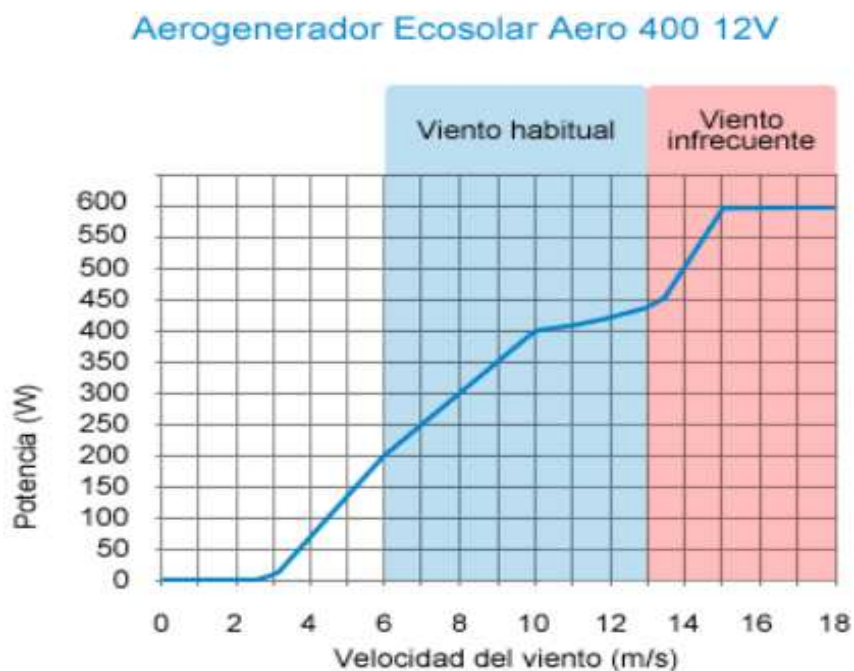


Figura 10: Curva de potencia
Fuente: Fabricante EcoSolar Green Energy Products

Además, se han obtenido valores de media mensual medidos con un anemómetro situado a 50 metros de altura al suelo, en la localización de la vivienda.



Figura 11: Perfil de velocidades medias del viento a 50 metros de altura
Fuente: Base de datos de la Nasa

Como se especifica en la ficha técnica del aerogenerador adjunta en los anexos, el mástil puede tener una longitud de entre 5 y 10 metros. Por lo tanto, como el perfil de velocidad del viento es variable con la altura, se obtiene a continuación los valores estimados para la altura de nuestro generador eólico, a partir de la siguiente expresión:

$$v_h = v_0 \cdot (h/h_0)^a$$

v_h velocidad a la altura h
 v_0 velocidad a la altura conocida h_0
 a coeficiente de rugosidad del terreno

Figura 12: Perfil de velocidad del viento
Fuente: Guía de Energías Renovables para PYMES

Ahora falta por determinar el coeficiente de rugosidad del terreno, que estimaremos en 0,03, debido a la ausencia de vegetación de una altura considerable, y así obtenemos el perfil anual de velocidades del viento corregido a una altura de 10 metros de altura sobre el suelo, que es donde se situará el eje del aerogenerador.

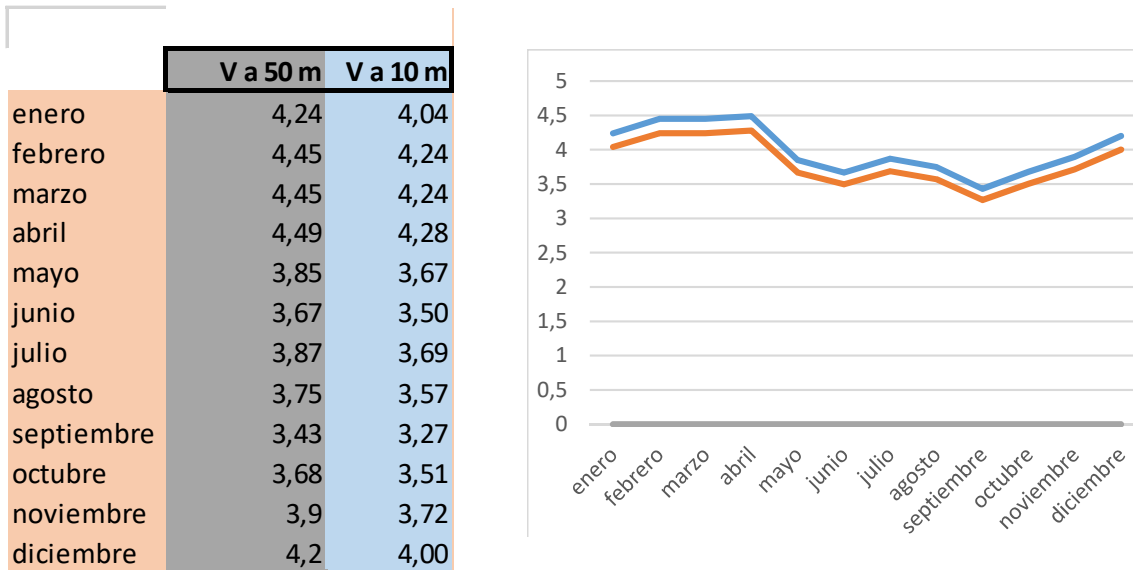


Figura 13: Perfil de velocidades del viento corregido a 10 metros
Fuente: Elaboración propia

Ahora estamos en condiciones de estimar la energía que proviene del aerogenerador, con la curva de potencia del mismo y el perfil de velocidades anual. Para el mes de diciembre, que como se ha comentado anteriormente es el período elegido para dimensionar la instalación, por ser este en las condiciones más desfavorables, tenemos la siguiente producción de energía eólica.

$$E_{eólica\text{diciembre}} = P * t = 0,055 * 24 * 30 = 40 \text{ kwh}$$

Se trata de un cálculo aproximado, ya que suponemos que el aerogenerador trabaja durante todo el mes a 4 m/s produciendo 55 W de producción eléctrica útil a la salida del regulador.

En realidad el comportamiento del viento es mucho más variable, tanto en dirección como intensidad, y para instalaciones más grandes se realizan estudios con rosas de vientos y tabla de frecuencias como se ha comentado anteriormente, a diferencia de este estudio que se han considerado valores medios.

Entonces, de los 127 kwh que se necesitan cubrir en el mes de diciembre, 54 provendrán del aerogenerador, y los 73 restantes de las placas solares.

5) Recurso solar

Para el estudio del recurso solar se va a hacer uso de la herramienta proporcionada por la Nasa, PVGIS, una base de datos donde al introducir las coordenadas de nuestro emplazamiento, la tecnología de los módulos solares así como la orientación e inclinación de los mismos, nos genera un documento con la irradiación incidente.

En primer lugar mencionar que se descarta la utilización del seguimiento solar, ya que el enfoque es una instalación sencilla, lo más económica posible.

Como el horizonte está prácticamente despejado, se desestiman pérdidas por efecto sombra.

Además, la mejor orientación será 0º sur, maximizando la generación de energía durante todo el año.

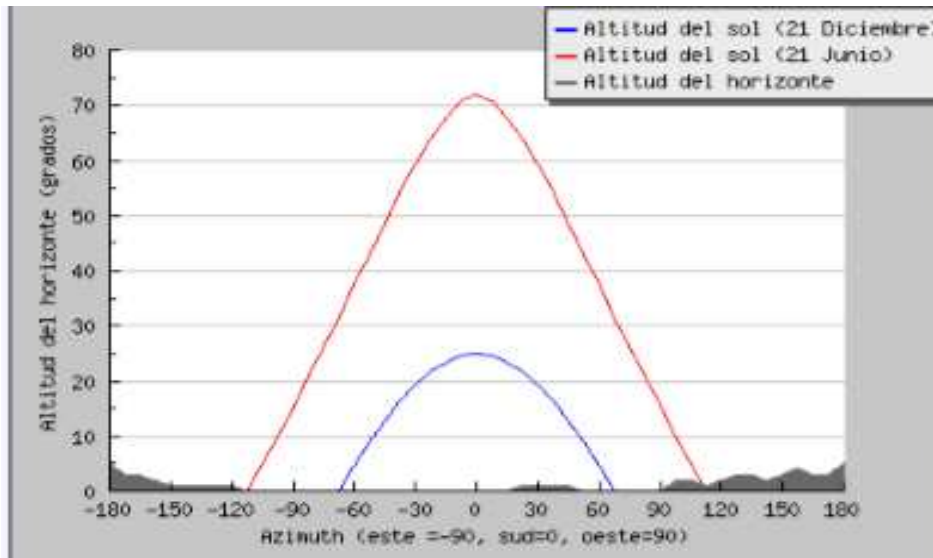


Figura 14: Trayectoria recorrida por el sol en los dos solsticios, y perfil del horizonte
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en cuanto a la inclinación, se descarta el uso de seguimiento solar, ya que encarecería en exceso la instalación y su mantenimiento, a pesar de que la mejora en captación es susceptiblemente mayor.



Figura 15: Inclinación variable de los paneles
Fuente: Manual del IDAE

Si hacemos uso del pliego de condiciones del IDAE este será la latitud - 10º, en este caso entorno a 31º. Otro posible valor es el que proporciona la misma base de datos, que es el que maximiza la producción de energía anual, 36º.

Vamos a realizar un análisis de sensibilidad para los diferentes ángulos de inclinación posibles, teniendo en cuenta que nuestro objetivo es satisfacer los requerimientos energéticos durante todos los meses del año, no maximizar la producción de energía eléctrica.

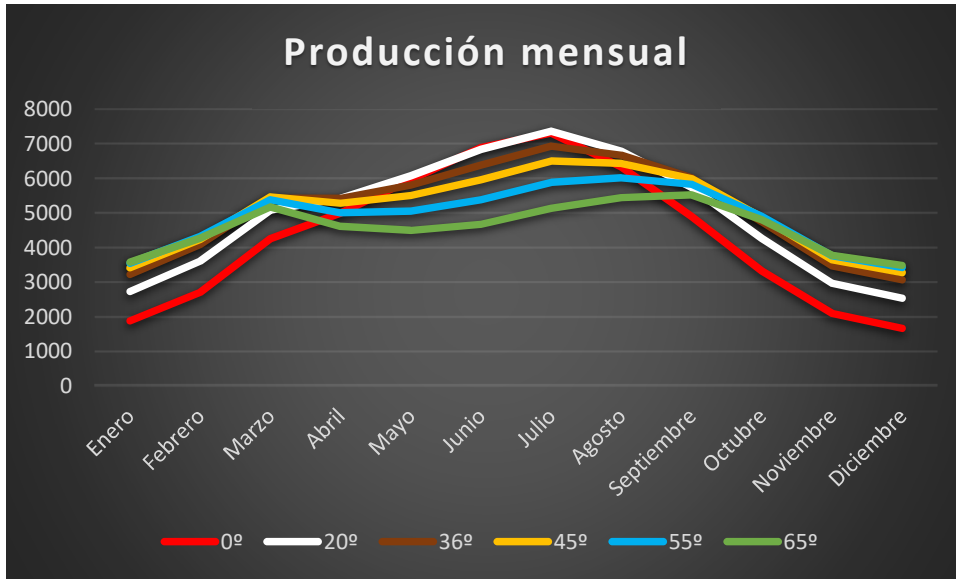


Figura 16: Análisis de sensibilidad del ángulo de inclinación de los paneles
Fuente: Elaboración propia

Si analizamos la forma de las gráficas, podemos ver que para ángulos pequeños, la producción energética es muy variable a lo largo del año, presentando valores en torno a 7000 kWh/m²*día, sin embargo en invierno la producción cae a valores que apenas superan los 1500. Para ángulos más elevados, la energía recibida en invierno aumenta considerablemente, a costa de reducir el pico de los meses más calurosos, obteniendo así una curva más plana.

Una buena elección final del ángulo sería la de color amarillo (45°), ya que la ganancia en invierno es considerable, y en verano la pérdida no es tan agravada. Los valores de radiación media mensual para esta inclinación de los paneles se adjunta a continuación.

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
3420	4240	5470	5290	5510	5970	6510	6440	6000	4880	3650	3280

Figura 17: Valores de radiación mensual incidente en un plano a 45° por m²
Fuente: Elaboración propia

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica usaremos el mínimo valor de radiación solar de todo el año, en diciembre, que además suele coincidir con el pico de consumo anual. De esta manera la instalación podrá hacer frente al consumo en todas las épocas del año, aunque en el resto de meses, si no se consume más de lo previsto, tendremos un excedente de energía generada.

A pesar de que en España el sol es un valor seguro, no deja de tener cierta componente aleatoria que podría provocar la falta de abastecimiento energético de la instalación si una borrasca hiciera acto de presencia. Por lo tanto es necesario dimensionar la instalación para que pueda funcionar de forma autónoma durante unos pocos días con la energía almacenada en las baterías.

Para ello vamos a estudiar los días nublados que se dan de media a lo largo del año en la provincia de Zaragoza.

Provincia	Máximo	Mínimo	Normal	Provincia	Máximo	Mínimo	Normal
Álava	25	20	15	León	23	18	14
Albacete	19	15	11	Lérida	23	18	14
Alicante	16	13	10	Lugo	24	19	14
Almería	15	12	9	Madrid	20	16	12
Asturias	24	19	14	Málaga	15	12	9
Ávila	22	18	13	Melilla	13	10	8
Badajoz	20	16	12	Murcia	15	12	9
Baleares	19	15	11	Navarra	24	19	14
Barcelona	20	16	12	Orense	24	19	14
Burgos	24	19	14	Palencia	24	19	14
Cáceres	19	15	11	Las Palmas	8	6	5
Cádiz	16	13	10	Pontevedra	21	17	13
Cantabria	24	19	14	La Rioja	23	18	14
Castellón	17	14	10	Salamanca	22	18	13
Ceuta	13	10	8	Sta. Tenerife	12	10	7
Ciudad Real	19	15	11	Segovia	22	18	13
Córdoba	18	14	11	Sevilla	18	14	11
La Coruña	22	18	13	Soria	21	17	13
Cuenca	21	17	13	Tarragona	19	15	11
Gerona	19	15	11	Teruel	22	18	13
Granada	17	14	10	Toledo	21	17	13
Guadalajara	21	17	13	Valencia	19	15	11
Guipúzcoa	23	18	14	Valladolid	25	20	15
Huelva	16	13	10	Vizcaya	24	19	14
Huesca	22	18	13	Zamora	24	19	14
Jaén	19	15	11	Zaragoza	21	17	13

Figura 18: Días nublados en un año por provincia

Fuente: Manual del IDAE

Un año normal suele dejarnos 13 días totalmente nublados, en los que el sol no hace acto de presencia. Dividiendo esta cantidad entre los 6 meses de peor tiempo (octubre-marzo), obtenemos alrededor de 2 días de autonomía. Aunque esto no es un cálculo exacto, es una buena estimación, ya que hay muy pocas posibilidades que estos 13 días de nubes ocurrieran de forma continuada, sin dar tiempo al sistema a recuperar la carga. No obstante, para situaciones de este tipo, se dispondrá de un grupo electrógeno como emergencia, evitando así sobredimensionar la instalación en exceso.

6) Dimensionado método del IDAE

6.1) Paneles fotovoltaicos

A continuación vamos a elegir los diferentes elementos de la instalación fotovoltaica que más se ajusten a nuestras necesidades. Las potencias de los paneles comerciales para instalaciones solares en viviendas suelen tener una potencia entre los 100 y 350 Wp, por lo tanto una buena elección serían los que incluye el kit, de la marca Waaree 24 V y 320Wp, de silicio policristalino.

En las Figura 19 y 20 se presentan las características y gráficas principales de la ficha técnica proporcionada por el fabricante.

Electrical Characteristics *								
Model	WS-290 / 24V	WS-295 / 24V	WS-300 / 24V	WS-305 / 24V	WS-310 / 24V	WS-315 / 24V	WS-320 / 24V	WS-325 / 24V
Nominal Maximum Power, P _m (W)*	290	295	300	305	310	315	320	325
Power tolerance	0 / + 5 W							
Open Circuit Voltage, V _{oc} (V)*	44.80	44.90	45.00	45.10	45.20	45.25	45.30	45.35
Short Circuit Current, I _{sc} (A)*	8.63	8.77	8.89	9.02	9.14	9.29	9.42	9.55
Voltage at Maximum Power, V _{mp} (V)*	36.30	36.40	36.50	36.60	36.70	36.75	36.80	36.85
Current at Maximum Power, I _{mp} (A)*	7.99	8.11	8.22	8.34	8.45	8.58	8.70	8.82
Maximum System Voltage (V)	1000							
Module Efficiency (%)*	14.94	15.20	15.46	15.72	15.98	16.23	16.49	16.74
Maximum Series Fuse Rating (A)	15	15	15	15	15	15	15	15
Limiting Reverse Current (A)	15	15	15	15	15	15	15	15

*Under Standard Test Conditions (STC) of 1000 W/m² irradiance, AM 1.5 spectrum and 25°C cell temperature.

Figura 19: Características paneles Waaree 24V
Fuente: Catálogo del fabricante Waaree

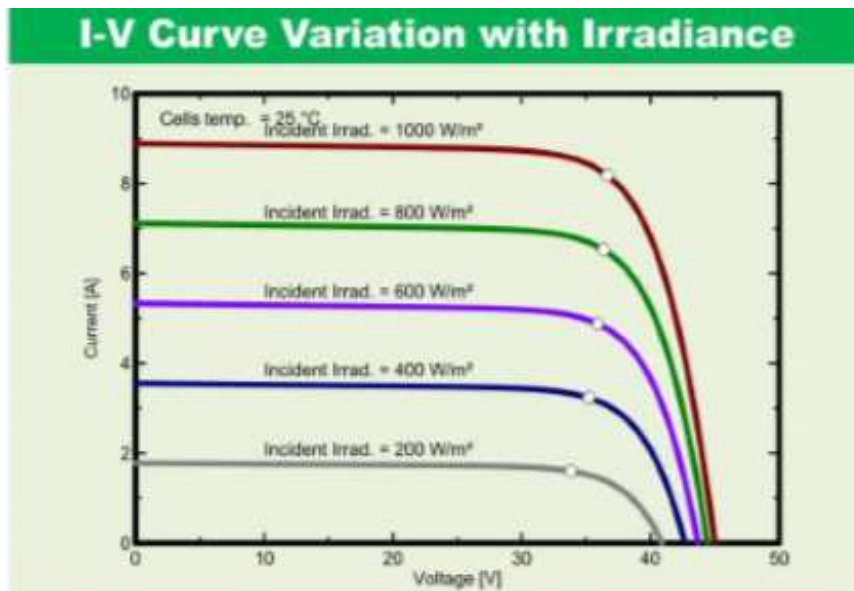


Figura 20: Curva tensión-intensidad
Fuente: Catálogo del fabricante Waaree

Una forma rápida de evaluar el número de módulos que son necesarios para cubrir nuestras necesidades es realizar el siguiente cálculo:

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{\text{Energía}_{\text{diaria}} (W * h)}{P_{\text{pico panel}} (Wp) * PR(\%) * HSP(h)}$$

PR, es el “Performance Ratio” de la instalación o rendimiento energético de la instalación, definido como la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, donde se tienen en cuenta las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos (2%)
- Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas (1,5%)
- Pérdidas debida a la acumulación de suciedad en los módulos (3%)
- Pérdidas por degradación de los módulos (1%)
- Pérdidas eléctricas (1,5%)
- Pérdidas por reflectancia (1%)

ENERGÍA DIARIA A GENERAR	4.257,00 (w*h)	CAMPO SOLAR	AEROGENERADOR
H.s.p.	2,49	2.923,67	1333,33333
TENSION SISTEMA	24 V		
PERDIDAS CONSIDERADAS	10 %		
Panel	(2)		
Waaree 24 v 320W			
Potencia	320 w	Células	36
Tension Nominal	24 v ok	(si el panel no tiene 72 o 36 células hay que instalarlo junto a u	
Intensidad corto circuito	9,42		
Paneles serie	1 ok		
Grupos Paralelo	4,00 ok		
Paneles Recomendados	4,08		
Paneles instalados	4		
Tensión campo solar	24 ok		
Intensidad cortocircuito Campo sol	37,68 ok		

Figura 21: Cálculo del número de paneles necesarios
Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido de 4,08 paneles implicaría el uso de 5 paneles en paralelo, pero como es un valor muy cercano a 4, y la instalación ya se ha sobredimensionado suficiente diseñándola para cubrir las necesidades en el mes de diciembre, se decide instalar 4 paneles, ya que se dispone de un grupo electrógeno para situaciones eventuales.

6.2) Inversor-regulador

Para esta instalación híbrida se va a utilizar un equipo que hace las veces de regulador e inversor, con una elevada eficiencia de funcionamiento. Es el que viene en el kit que usamos como referencia para el dimensionado. A continuación, se presentan sus características más relevantes, para comprobar si son suficientes para nuestra instalación.



“El equipo todo en uno para instalaciones solares y eólicas.”

- Regulador de carga de 80A MPPT, hace trabajar a la célula fotovoltaica a P_{máx}.
- Hasta 2400W de potencia en paneles solares
- Cargador de baterías es de 60A de carga como máximo, mediante
- La parte inversor tiene una potencia máxima de 4300W, pudiendo tener puntas de arranque de hasta 7000W (durante 3 segs).

Figura 22: Imagen y características del inversor-regulador Atersa Quadro 5kVA
Fuente: Ficha técnica del fabricante Atersa

Las restricciones de diseño que deben incluir estos dos equipos son las siguientes. Como regulador, debe cumplir que su intensidad nominal sea superior a las intensidades de cortocircuito del campo solar, con un factor de seguridad. Como se van a conectar los 4 paneles en paralelo, la intensidad de cortocircuito del grupo será la siguiente.



$$I_{sc} = 9,42 A$$

$$V_{panel} = 24V$$

$$I_{sc_{paralelo}} = 1,25 * N_{paneles} * I_{sc}$$

$$= 1,25 * 4 * 9,42$$

$$= 58,88 A$$

Figura 23: Conexionado de los paneles entre sí y verificación de intensidad
Fuente: Instrucciones de montaje del fabricante Waaree

Como inversor debe cumplir una serie de características que lo hagan apto para este tipo de instalaciones. La tensión de salida debe estar en un nivel de 230V AC, de tipo senoidal, lo más parecida a la de la red, a 50 Hz, para no dañar los distintos electrodomésticos. Además su potencia nominal debe ser superior con un cierto margen de seguridad a la potencia instantánea máxima que se puede consumir en la instalación.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Regulador de Carga	
Rango Voltaje MPPT	60 -115 V
Voltaje Máx Voc	145 VDC
Amperios Máximos	80 A
Consumo Stand By	30 W
Cargador de Batería	
Voltaje de Batería	24 V
Voltaje en Flotación	27 V
Protección Sobrevoltaje	30.5 V
Corriente Máx. de Carga	60 A
Inversor	
Voltaje de Salida (+- 5%)	230 V
Potencia Pico (3 segs)	7000 W
Eficiencia	93%
Tipo de Onda	Senoidal Pura
Características Físicas	
Dimensiones mm (Largo x Alto x Ancho)	180x310x475
Peso (Kg)	11.0
Temperatura de Trabajo	0 - 55°C
Temperatura de Almacenamiento	-15 - 60°C

$$P_{Inv_min} = P_{instantánea} * 1,10 \\ = 4290 W$$

$$V_{salida} = 230 V$$

Tipo de Onda: senoidal, 50 Hz


$$V_{entrada} = 24V$$

*Figura 24: Características del inversor-regulador y verificación de potencia
Fuente: Hoja de características del fabricante*

6.3) Banco de baterías

Ahora se realiza el estudio del banco de baterías, que es un elemento muy importante en el desempeño de la instalación. Hay que tener en cuenta que la generación de energía y el consumo suelen estar desfasados en el tiempo, por eso necesitamos almacenar la energía en las baterías.

El tipo de baterías que se van a utilizar en esta instalación son de la marca FS SOLAR de tipo estacionario, que aguantan bien los ciclos de carga y descarga continuos. Vamos a elegir las que mayor capacidad tienen de su catálogo, las de 260 Ah, más adelante, en el estudio mediante el software Homer Energy, se tendrán en cuenta otro tipo de baterías de mayor rendimiento y duración, pero también más caras.

FS SOLAR	Modelo	V	Capacidad Ah C100	Medidas max. (mm)			Precio BASE	Código AMP	Enero 2017	
				Largo	Ancho	Alto			AMP	P.V.P.
12 MESES GARANTÍA										
SOLAR										
	FS 70 SOLAR	12	66	242	175	190	83,90	G12F	11,75	95,65
	FS 80 SOLAR	12	80	278	175	190	102,60	G12G	14,00	116,60
	FS 110 SOLAR	12	105	353	175	190	133,70	G12H	15,75	149,45
	FS 155 SOLAR	12	155	513	189	223	215,50	G12L	28,25	243,75
	FS 200 SOLAR	12	200	513	223	223	249,30	G12L	28,25	277,55
	FS 260 SOLAR	12	260	518	276	242	311,50	G12M	36,25	347,75

El Ajuste de Materia Prima cambiará mensualmente.



Formularia Star SOLAR

- Totalmente Libre de Mantenimiento
- Placas y separadores especiales
- Alta resistencia a profundos y continuos ciclos de carga y descarga
- Sistema de regulación por válvula con supresor de llama
- Larga Vida en servicio, Reducida autodescarga
- Baterías Hermética Estacionaria (diseñada para instalaciones fotovoltaicas)

Figura 25: Características de las baterías
Fuente: Catálogo del fabricante

A continuación se presentan los cálculos e hipótesis realizados para obtener el tamaño correcto del banco de baterías.

En primer lugar, elegimos la tensión de trabajo del banco de baterías. Las tres posibilidades más comunes según el rango de potencia suele ser de 12, 24 o 48 voltios.

Como se trata de una instalación de potencia media, elegimos 24 V, además este valor de tensión entra dentro del rango permitido por el regulador/inversor.

Además, hay que considerar la profundidad de descarga máxima que vamos a exponer a las baterías, si utilizamos las recomendaciones del fabricante, podemos elegir el tope en un 40%, ya que se trata de baterías monoblock de plomo-ácido.

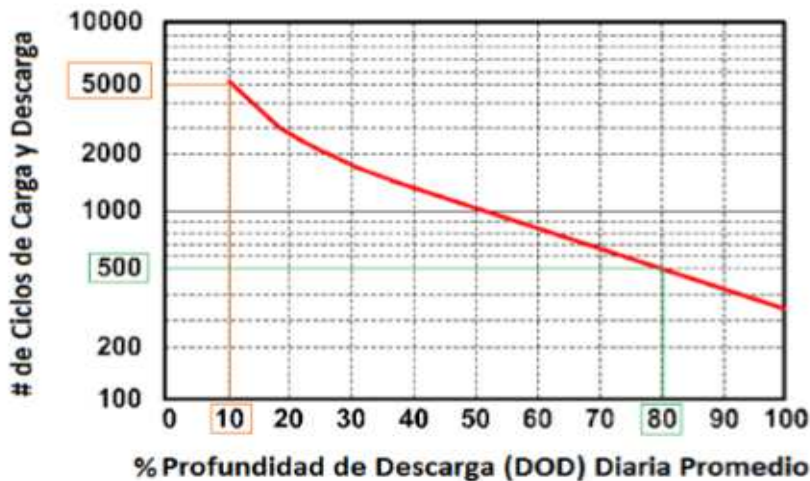


Figura 26: Ciclos de vida de la batería en función de la profundidad de descarga
Fuente: Catálogo del fabricante

$$C_{necesaria}(A * h) = \frac{Energía_{totalDiaria}}{V_{instalación} * \frac{PD}{100}} * Días_Autonomía = \frac{4257}{24 * \frac{40}{100}} * 2 = 886 Ah$$

Ah necesarios dia	177,38 Ah
Dias de autonomía	<input type="text" value="2"/> (1)
Profundidad de descarga	40 % <input type="text" value="40"/> (2)
Capacidad necesaria	887 Ah
Tensión Sistema	24 V
Bateria	
Fórmula Solar 260 Ah 12 V	
Tensión	12 V
Capacidad	260 Ah
En serie	2 Grupos paralelo
Capacidad total	1040 Ah

Figura 27: Cálculo de la capacidad necesaria
Fuente: Elaboración propia

Como la tensión del banco de baterías es de 24 V, necesitamos conectar dos en serie para obtener un grupo de 24 V y 260 Ah. Por lo tanto, para los 886 Ah de capacidad requerida, necesitaríamos 4 parejas en paralelo, lo que daría 1040 Ah de capacidad total, y un total de 8 baterías.



Figura 28: Esquema de conexión de las baterías
Fuente: Hoja de instrucciones del fabricante

7) Dimensionado método Homer Energy

7.1) Inputs de parámetros

El cálculo realizado anteriormente es una buena herramienta que puede servir para realizar un pre-dimensionado de la instalación, y con las soluciones obtenidas, podemos concretar en mayor medida con un software específico.

Para poder realizar un estudio preciso del recurso energético disponible, el programa trabaja con la base de datos de la Nasa. Una vez introducidas las coordenadas del emplazamiento, obtenemos los datos de radiación necesarios para dimensionar la instalación

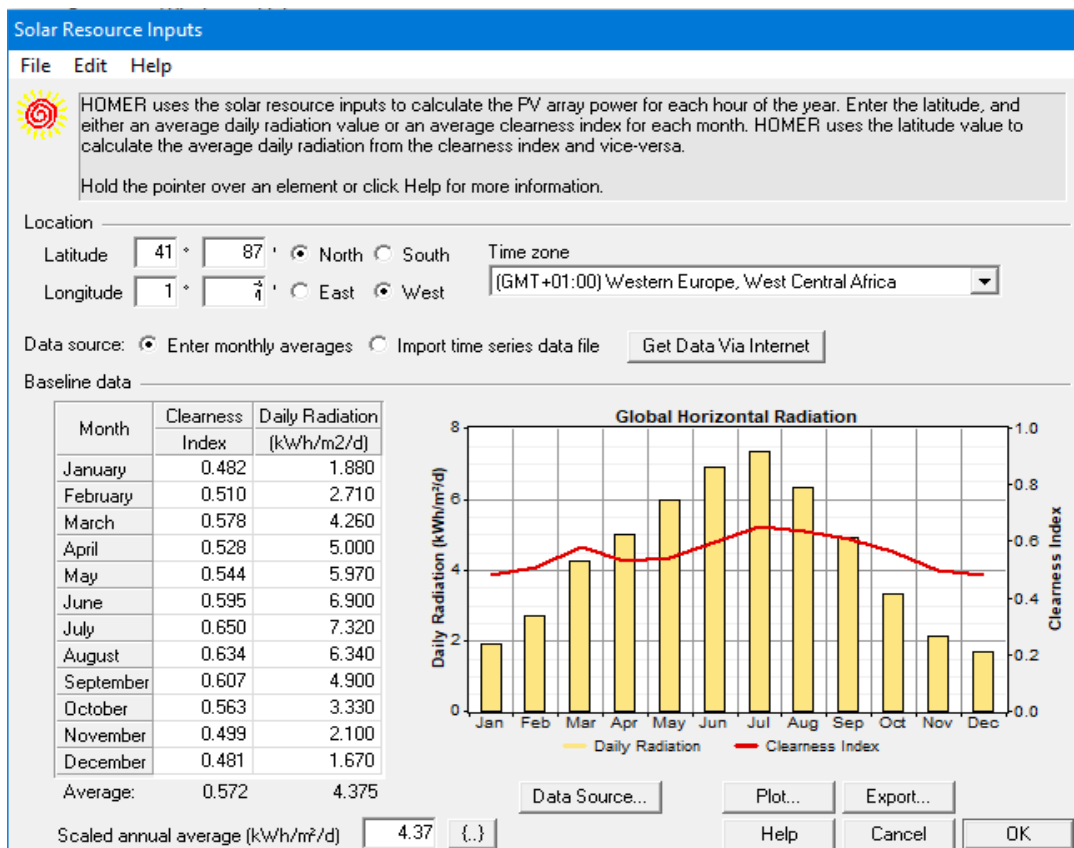


Figura 29: Input del recurso solar al software
Fuente: Homer Energy

A continuación introducimos el recurso eólico a la aplicación, usando los mismos parámetros que para el cálculo manual.

Además seleccionamos el desplegable de variación con la altura, para introducir los valores de rugosidad y altura del mástil para corregir la velocidad del viento.

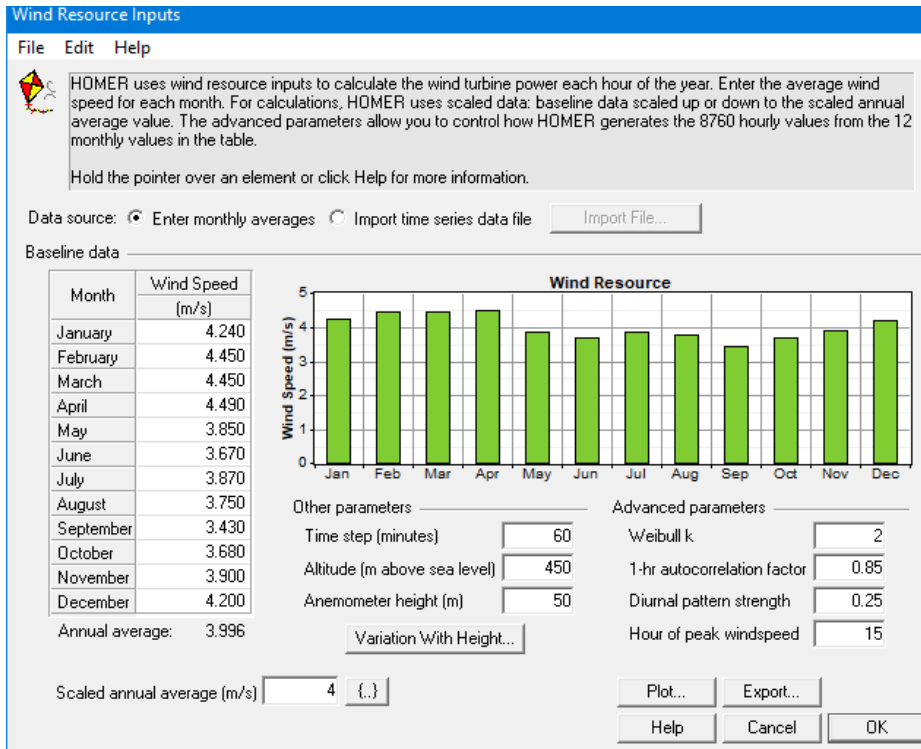


Figura 30: Input recurso eólico
Fuente: Homer Energy

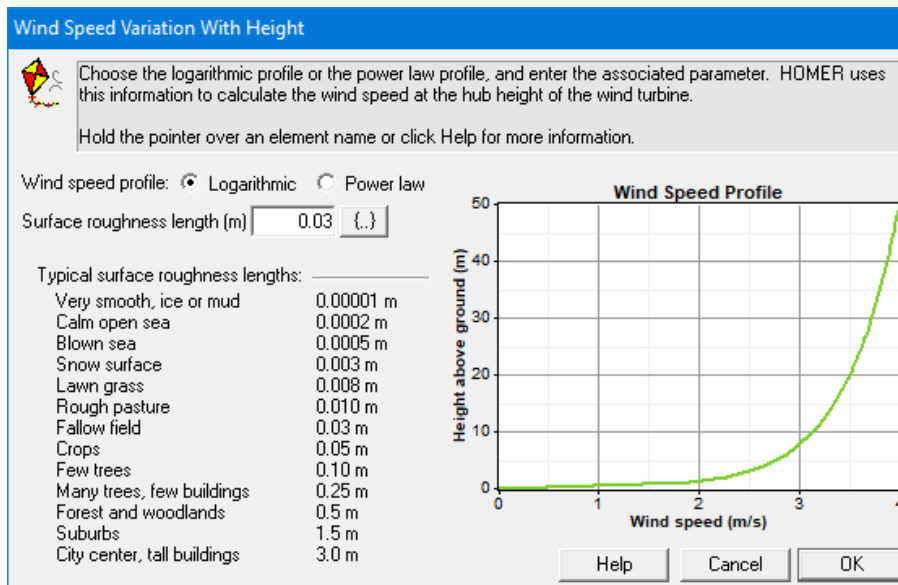


Figura 31: Perfil de la velocidad del viento
Fuente: Homer Energy

En este caso, el cálculo lo realiza Homer automáticamente, el coeficiente de rugosidad del terreno, que se estima en 0,03 debido a la ausencia de elevada en los alrededores. Finalmente, obtenemos el perfil mensual de medias de velocidad del viento a una altura de 10 metros, que son los valores que utilizará el programa para estimar la producción de energía eólica, una vez conozca la curva de potencia del aerogenerador.

En cuanto al recurso de origen no renovable de la instalación se va a tener en cuenta dos tipos de generadores, uno que utiliza gasolina como combustible, y el otro diésel.

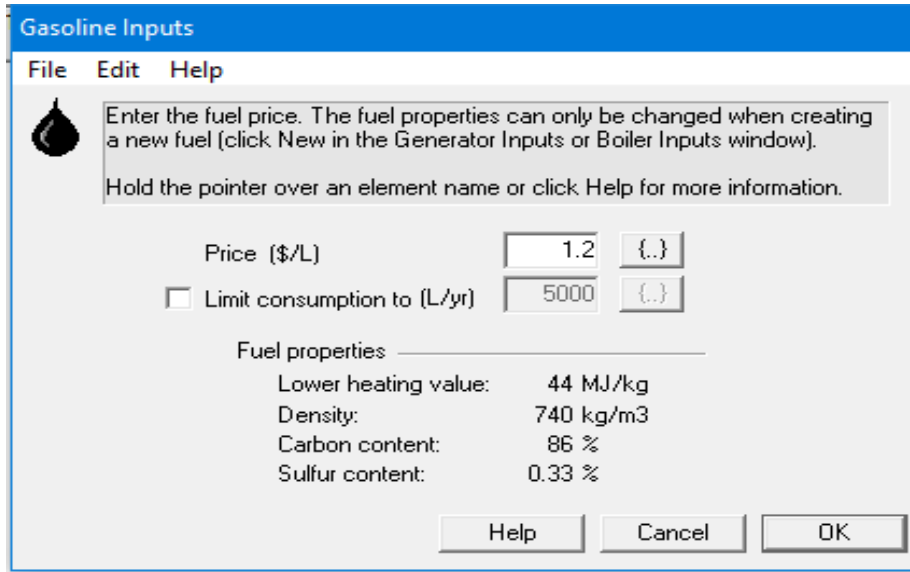


Figura 32: Input Gasolina
Fuente: Homer Energy

A continuación, se introducen también los parámetros del diésel, tanto de propiedades termodinámicas como en lo relativo al coste por litro y la inflación que está previsto que sufra a lo largo de los 30 años que se proyecta la instalación.

(*Nota: en lo relativo al coste, se trabaja en € y no en dólares americanos.)

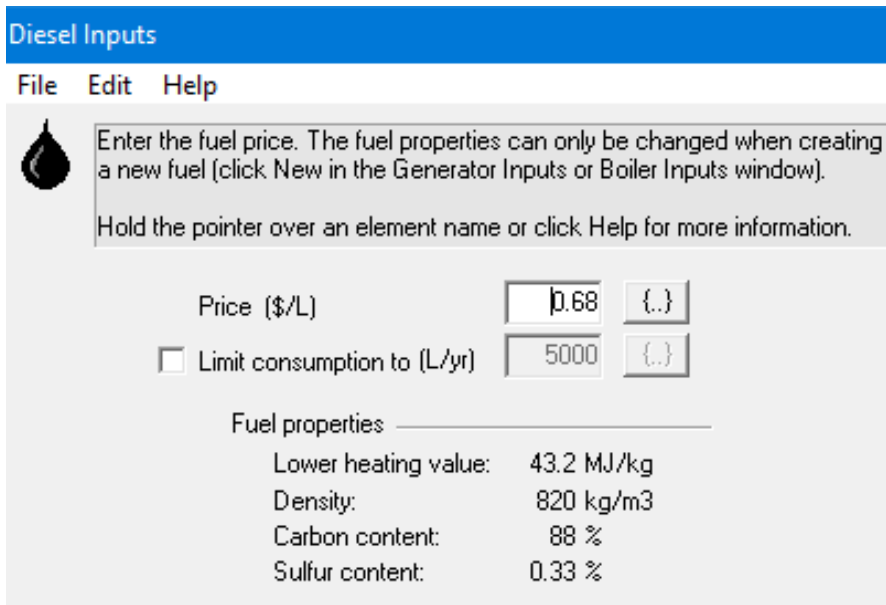


Figura 33: Input Diésel
Fuente: Homer Energy

En cuanto a los equipos que se han considerado, empezamos por el grupo electrógeno, que en este planteamiento inicial será de gasolina y 2,2 kW de potencia. Más adelante se estudiará si es rentable utilizar uno alimentado por diésel.

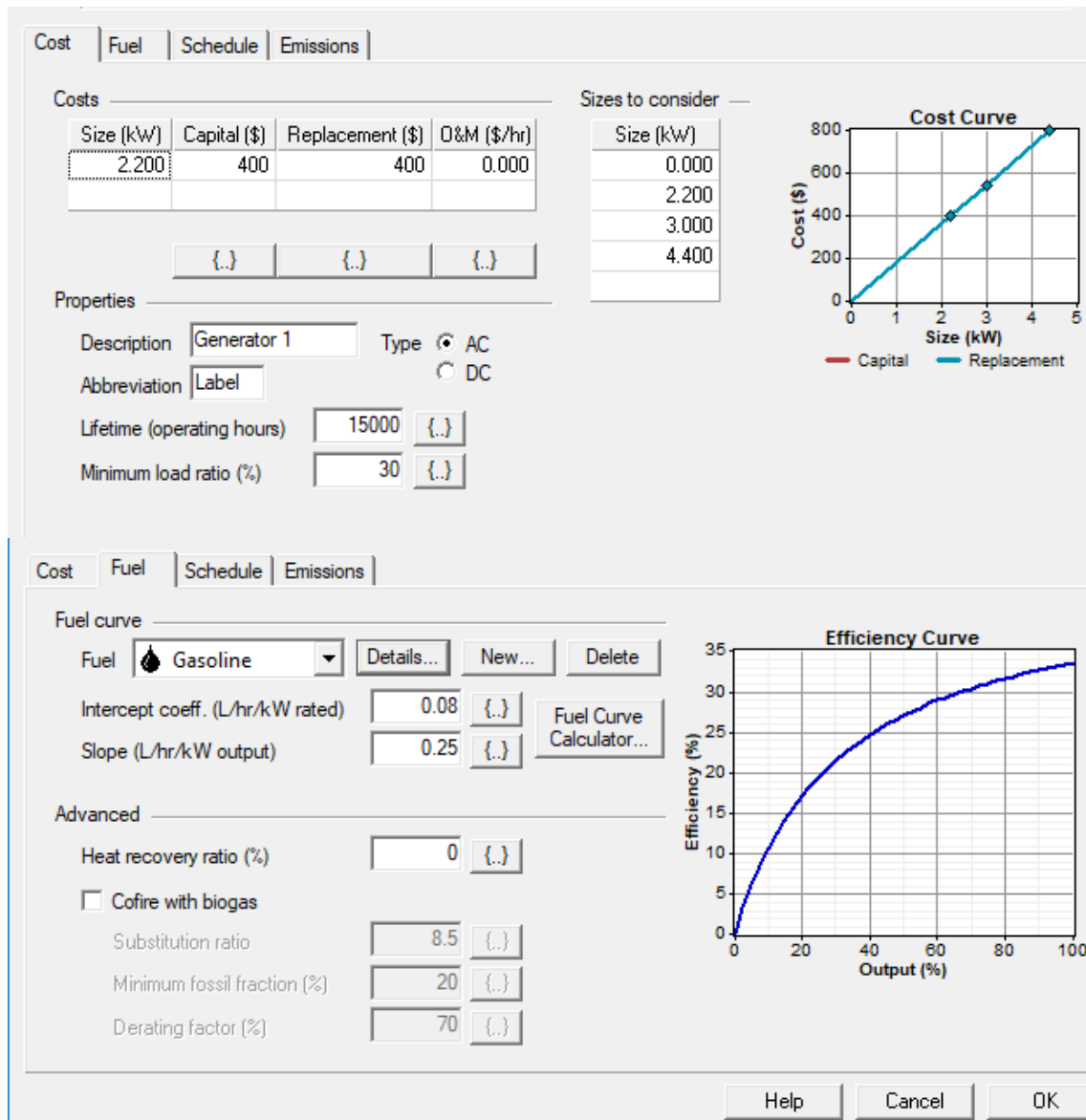


Figura 34: Parámetros grupo electrógeno gasolina
Fuente: Homer Energy y ficha técnica del producto

Ahora seguimos con los paneles, introducimos los valores de potencia, número de paneles posibles, coste, tiempo de vida útil y geometría. Además se elige como variable de sensibilidad el ángulo de inclinación de los paneles con 3 valores: 35°, 45° y 55°.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0.320	248	248	0
{.}	{.}	{.}	{.}

Properties

Output current AC DC

Lifetime (years) {.}

Derating factor (%) {.}

Slope (degrees) {.}

Azimuth (degrees W of S) {.}

Ground reflectance (%) {.}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
0.320
0.640
0.960
1.280
1.600
1.920

Advanced

Tracking system

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) {.}

Nominal operating cell temp. (°C) {.}

Efficiency at std. test conditions (%) {.}

Figura 35: Parámetros paneles fotovoltaicos
Fuente: Homer Energy y ficha técnica

En cuanto al aerogenerador, introducimos de nuevo los valores requeridos así como la curva de potencia suministrada por el fabricante.

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type Details... New... Delete

Turbine properties

Abbreviation: G1 (used for column headings)

Rated power: 0.6 kW DC

Manufacturer:

Website:

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	580	580	0
{.}	{.}	{.}	{.}

Other

Lifetime (yrs) {.}

Hub height (m) {.}

Sizes to consider

Quantity
0
1

Figura 36: Parámetros del aerogenerador
Fuente: Homer Energy

En este caso se añade una nueva variable de sensibilidad que es la altura del poste del aerogenerador, a 5 y 10 metros de altura sobre el suelo.

Para las baterías, añadimos a la librería del programa las baterías que usaremos inicialmente, de tipo monoblock, las “Fórmula Star 260 Ah”, cuyas características se presentan a continuación.

Battery Inputs

File Edit Help

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type: Details... Copy... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: _____ Lifetime throughput: 1,000 kWh

Website: _____

Nominal specs: 12 V, 260 Ah, 3.12 kWh

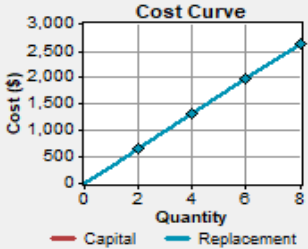
Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	327	327	0.00
	{.}	{.}	{.}

Sizes to consider

Strings
0
1
2
3
4

Cost Curve



Advanced

Batteries per string: (24 V bus)

Initial state of charge (%): {.}

Minimum battery life (yr): {.}

General

Description: Copy of FormulaStar260_
Abbreviation: FS260
Manufacturer:
Website:
Notes:

Nominal capacity: 260 Ah
Nominal voltage: 12 V
Round trip efficiency: 80 %
Min. state of charge: 60 %
Float life: 8 yrs
Lifetime throughput: 1,000 kWh
Suggested value: 0.00 kWh

Figura 37: Parámetros batería
Fuente: Homer Energy y ficha técnica

Se elige 24 V como la tensión de trabajo del banco de baterías, ya que está dentro del rango de tensiones del regulador/inversor, y las intensidades serán la mitad que con 12V, por lo tanto ahorraremos en equipos de protección y cables.

Por otro lado, como son baterías tipo monoblock de plomo ácido, no permiten una descarga profunda, más allá del 40% de la carga.

Además, el tiempo de vida útil en flotación que da el fabricante es de 8 años.

Ahora pasamos a introducir los valores horarios de las cargas de consumo para cada mes del año. A diferencia del dimensionado manual, donde utilizamos el valor medio del mes de diciembre, este análisis horario durante todo el año con el software es mucho más preciso, ya que tiene en cuenta el desfase entre la generación y el consumo de energía.

Por ejemplo, para el mes de enero tendríamos un perfil de consumo con picos por la mañana temprano sobre las 7 am, al medio día sobre las 14 pm, y por la noche sobre las 22 pm, sobre todo debido al uso de la bomba de calor.

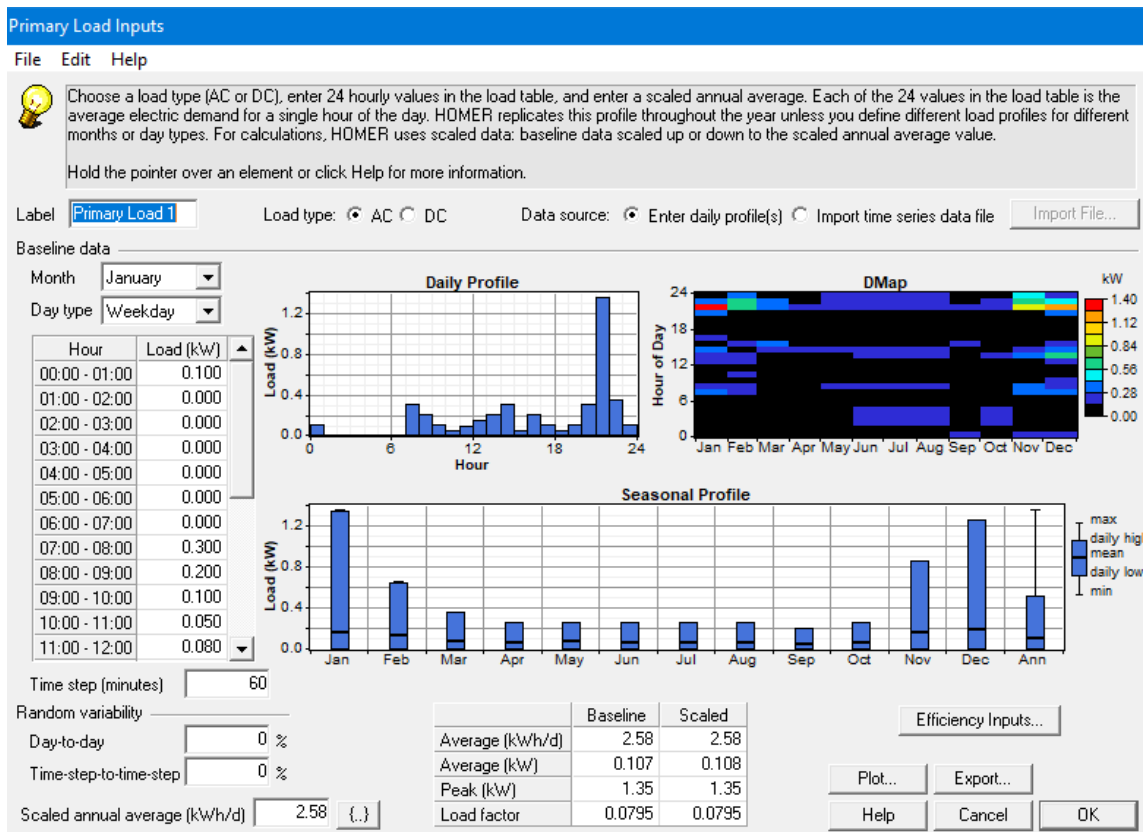


Figura 38: Perfil de consumo horario en el mes de Enero

Fuente: Homer Energy

Para el mes de junio, se observa un perfil más plano, con cargas de consumo menores. Sin embargo, durante la noche se enciende la bomba del sistema de riego del huerto y la depuradora de la piscina.

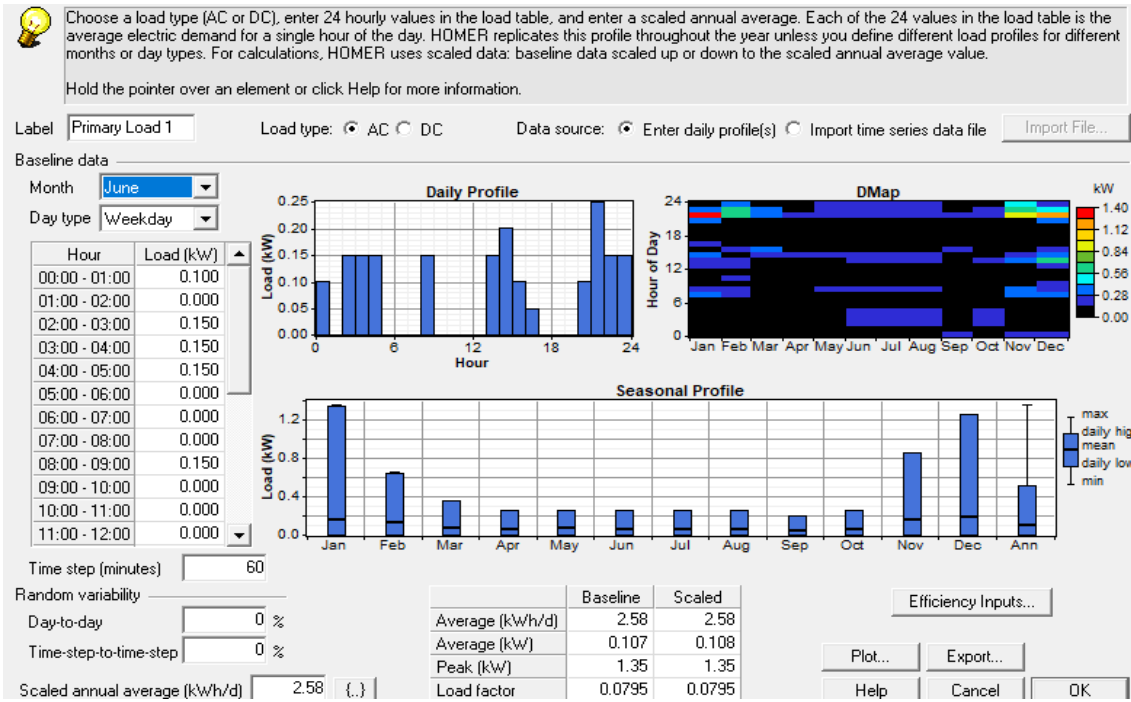


Figura 39: Perfil de consumo horario en el mes de Junio
 Fuente: Homer Energy

Durante el mes de octubre es cuando se observa un menor consumo, esto es debido a que ya no se usa el sistema de riego ni depuración, ni tampoco el de climatización.

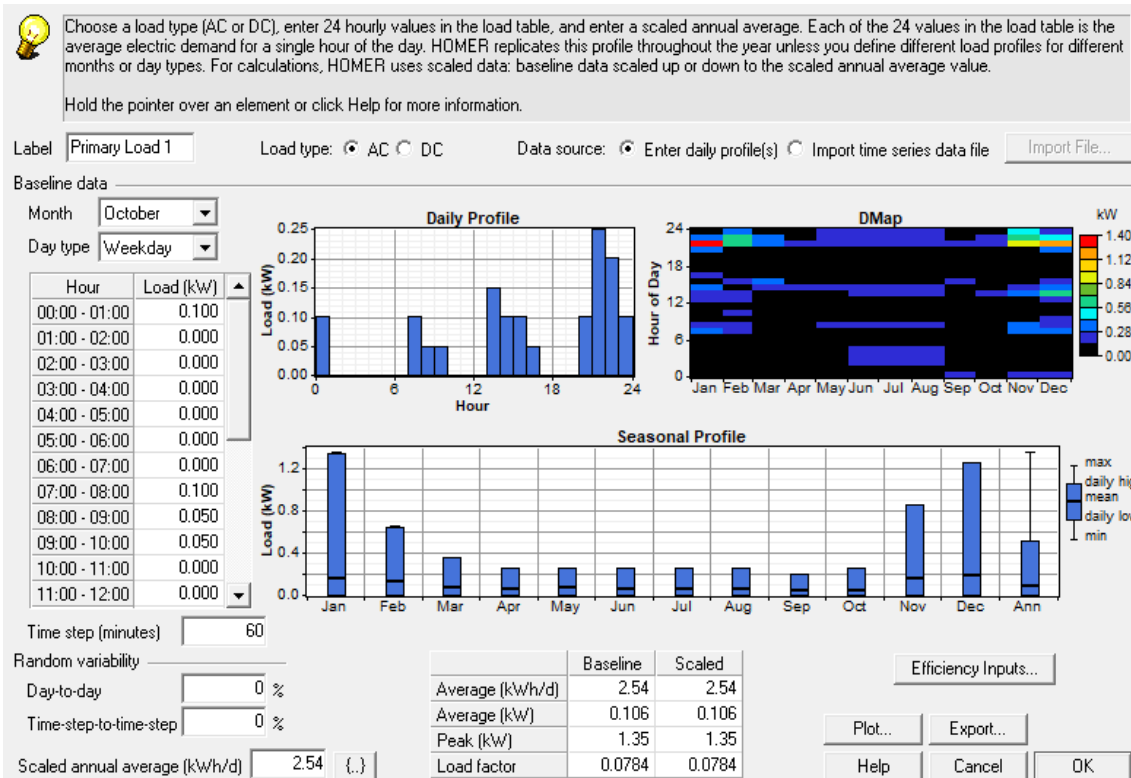
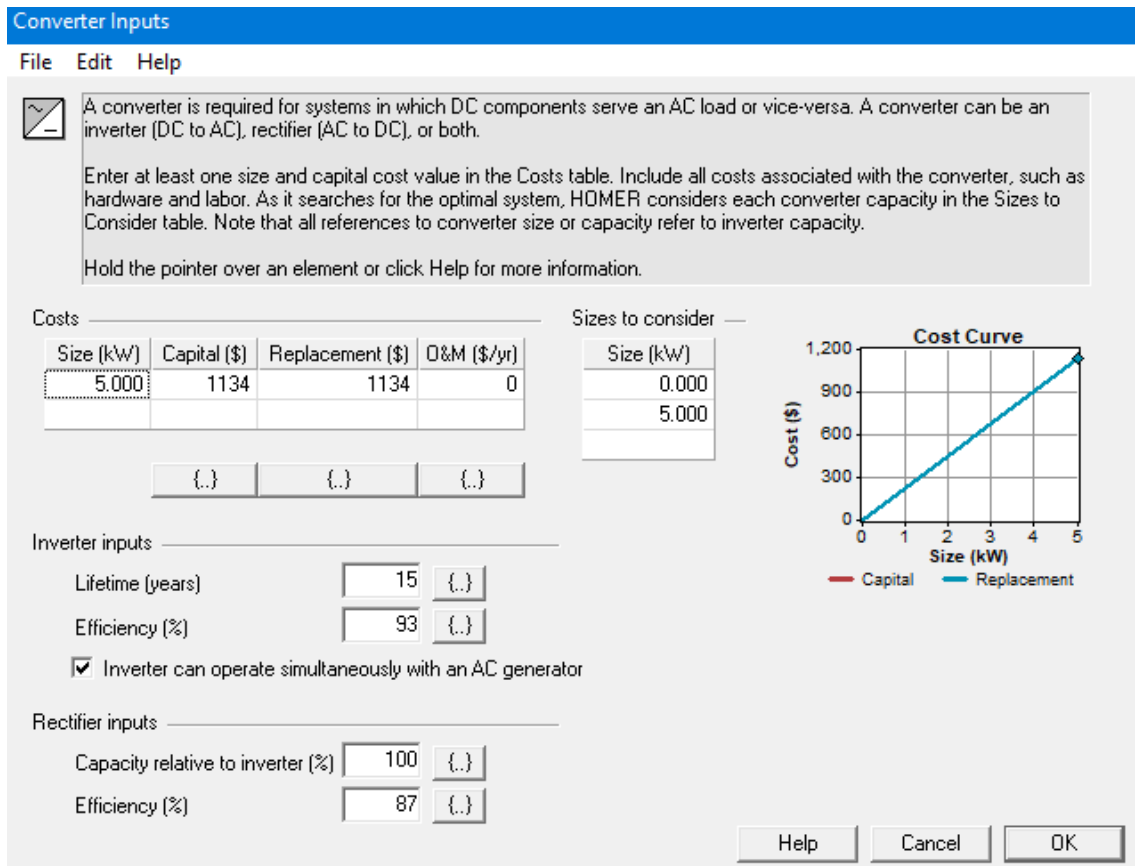


Figura 40: Perfil de consumo horario en el mes de Octubre
 Fuente: Homer Energy

Ahora introducimos los parámetros de potencia, coste, eficiencia y vida útil para el regulador-inversor.



Converter Inputs
File Edit Help

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

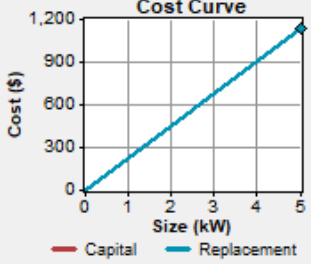
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
5.000	1134	1134	0

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
5.000

Cost Curve



Inverter inputs

Lifetime (years) (.)

Efficiency (%) (.)

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

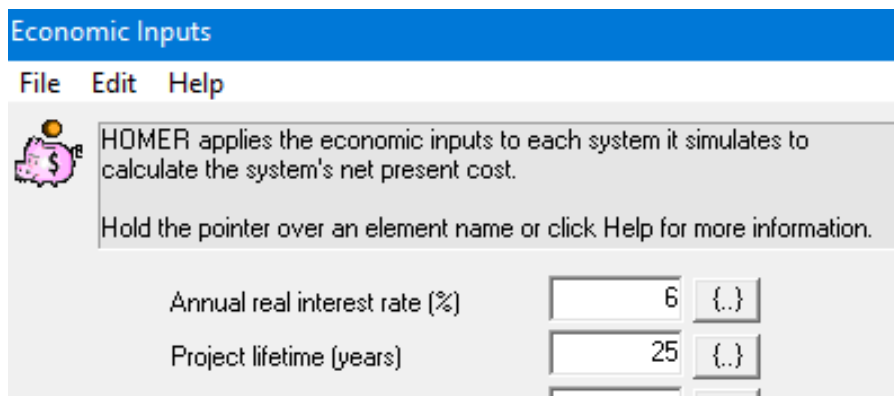
Capacity relative to inverter (%) (.)

Efficiency (%) (.)


Help Cancel OK

Figura 41: Parámetros inversor-regulador
Fuente: Homer Energy

Finalmente introducimos los parámetros económicos del proyecto, la duración del mismo para evaluar su rentabilidad.



Economic Inputs
File Edit Help

 HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Annual real interest rate (%) (.)

Project lifetime (years) (.)

Figura 42: Parámetros económicos del proyecto
Fuente: Homer Energy

Una vez introducidos todos los elementos de la instalación, el esquema de la misma es el siguiente.

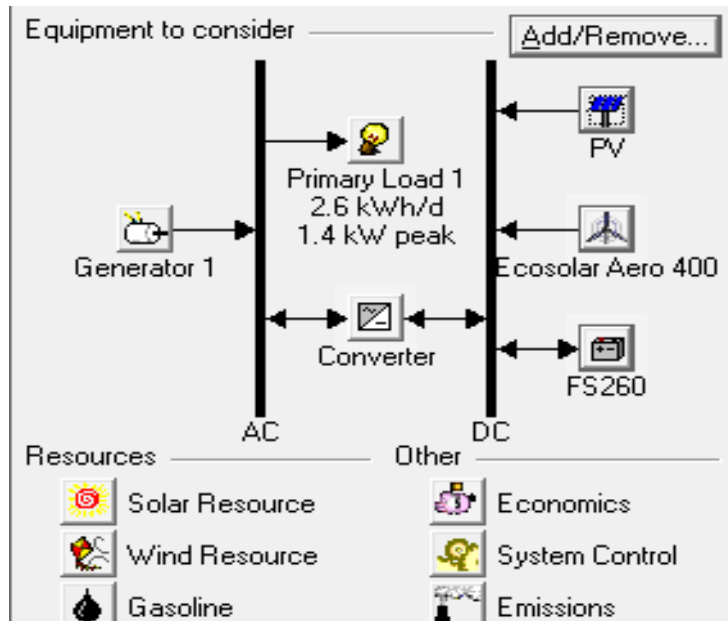


Figura 43: Esquema de la Instalación
Fuente: Homer Energy

7.2) Análisis de sensibilidad

Una vez introducidos todos los parámetros de la instalación, se realiza el cálculo de sensibilidad, obteniendo los siguientes resultados.

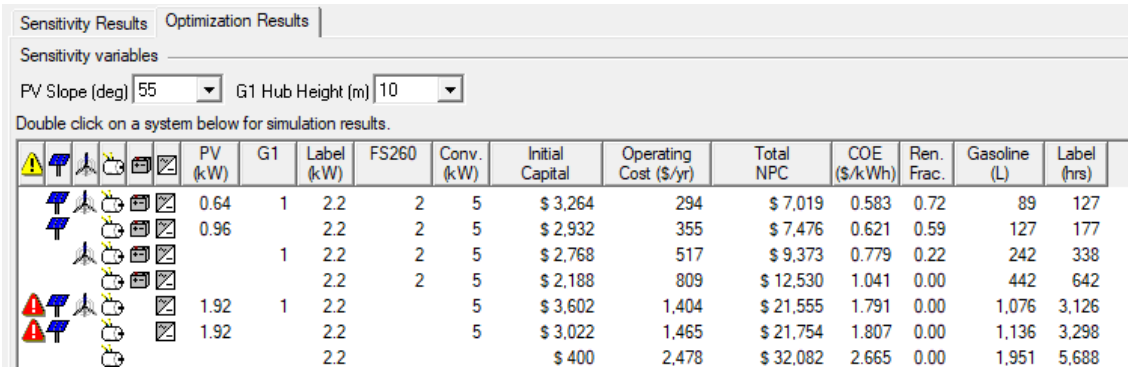
PV Slope (deg)	G1 Height	Warning	PV (kW)	G1	Label (kW)	FS260	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
35.0	5.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	311	\$ 7,241	0.601	0.69
35.0	10.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	294	\$ 7,018	0.583	0.71
45.0	5.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	310	\$ 7,231	0.601	0.69
45.0	10.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	293	\$ 7,009	0.582	0.72
55.0	5.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	310	\$ 7,232	0.601	0.69
55.0	10.0	Warning	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	294	\$ 7,019	0.583	0.72

Figura 44: Resultado del análisis de sensibilidad
Fuente: Homer Energy

Para las diferentes opciones, la más rentable es la que tenga un menor NPC ("Net Present Cost"), por lo tanto de aquí en adelante, el aerogenerador tendrá una altura de 10 metros, y los paneles una inclinación de 55º ya que la velocidad del viento es superior a 10 que a 5 metros, y los ángulos mayores de inclinación maximizan la producción en invierno.

7.3) Optimización de los elementos de la instalación

Seleccionamos los valores comentados en el análisis de sensibilidad en ambos desplegables, y realizamos la optimización del sistema para las diferentes posibles combinaciones entre los elementos que lo componen.



	PV (kW)	G1	Label (kW)	FS260	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Gasoline (L)	Label (hrs)
	0.64	1	2.2	2	5	\$ 3,264	294	\$ 7,019	0.583	0.72	89	127
	0.96		2.2	2	5	\$ 2,932	355	\$ 7,476	0.621	0.59	127	177
		1	2.2	2	5	\$ 2,768	517	\$ 9,373	0.779	0.22	242	338
			2.2	2	5	\$ 2,188	809	\$ 12,530	1.041	0.00	442	642
	1.92	1	2.2		5	\$ 3,602	1,404	\$ 21,555	1.791	0.00	1,076	3,126
	1.92		2.2		5	\$ 3,022	1,465	\$ 21,754	1.807	0.00	1,136	3,298
			2.2			\$ 400	2,478	\$ 32,082	2.665	0.00	1,951	5,688

Figura 45: Resultado optimización del sistema

Fuente: Homer Energy

En primer lugar analizamos las diversas combinaciones que realiza el programa, que van desde la más rentable donde encontramos energía solar, eólica y térmica procedente del recurso no fósil, hasta la opción menos rentable que es la de utilizar solamente el grupo electrógeno como única fuente de energía, aunque es la opción que requiere una menor inversión inicial.

Como se puede apreciar, la opción más rentable es la que forman, 2 paneles fotovoltaicos, 1 generador eólico, 2 baterías de 260 Ah 12V, y el grupo electrógeno de gasolina de 2,2kW.

La segunda mejor opción, sería eliminar de la instalación el aerogenerador, e incorporar un panel fotovoltaico más para suplir esa generación. Sin embargo, es más seguro incorporar los dos sistemas, ya que son complementarios entre sí, y caso de fallo o mantenimiento de uno de ellos, siempre se dispone del otro.

7.4) Mejoras individuales de la instalación

7.4.1) Generador diésel

A continuación, se plantea la mejora de incorporar un grupo electrógeno alimentado por diésel en vez de gasolina, ya que se trata de un combustible más barato, menos peligroso y con un mejor desempeño termodinámico.

Elegimos uno de 4,5 kW de potencia nominal, cuyo coste es casi 4 veces superior al de gasolina, pero el coste del recurso es casi la mitad, ya que el gasóleo tipo c usado en calefacción ronda los 0,68€/L si se compra una cantidad superior a los 500L.

Figura 46: Parámetros generador diésel
Fuente: Homer Energy y ficha técnica

Realizamos una nueva simulación del sistema, obteniendo el siguiente resultado.

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	G1	Label (kW)	FS260	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	0.64	1	4.5	2	5	\$ 4,353	204	\$ 6,967	0.579	0.71	66	122
	0.96		4.5	2	5	\$ 4,021	242	\$ 7,120	0.591	0.58	95	172
		1	4.5	2	5	\$ 3,857	331	\$ 8,090	0.672	0.17	183	295
			4.5	2	5	\$ 3,277	491	\$ 9,554	0.794	0.00	323	505
	1.92		4.5	5	5	\$ 4,111	940	\$ 16,121	1.339	0.00	1,187	3,298
	1.60	1	4.5		5	\$ 4,443	924	\$ 16,251	1.350	0.00	1,149	3,191
			4.5			\$ 1,489	1,614	\$ 22,126	1.838	0.00	2,048	5,688
		1	4.5		5	\$ 3,203	1,572	\$ 23,293	1.935	0.00	1,940	5,388

Figura 47: Resultado optimización del sistema
Fuente: Homer Energy

Como se puede apreciar, la inversión inicial asciende hasta los 4353€, sin embargo el NPC baja, ya que el coste de operación con el combustible diésel es bastante inferior que el de la gasolina, compensando a la larga.

7.4.2) Baterías AGM

Este tipo de baterías son más caras por unidad de capacidad, sin embargo, permiten descargas más profundas y una mayor vida útil.

Vamos a utilizar el modelo de "6 OPzS 600" de la marca Hoppecke, ya que viene por defecto en la librería del software. Buscamos el precio, que asciende a 1500€ por los 6 vasos de 2 voltios cada uno.



Ampliar





Mostrar todas las imágenes

Batería estacionaria 900Ah C100, 6 vasos x 2V HOPPECKE 6 OPZS 600

Baterías estacionarias de 900Ah de capacidad en C100 y 686Ah de capacidad en C10, 6 vasos x 2V, modelo 6 OPZS 600 de la marca Hoppecke, con una capacidad nominal de 600Ah.

La batería Hoppecke es un acumulador solar de energía de los mejores que existen actualmente en el mercado para uso en aplicaciones solares aisladas. Su gran capacidad, baja autodescarga y número de ciclos de descarga que soportan, las hacen ideales para instalaciones solares de uso diario, con una vida útil de hasta 20 años.

La batería Hoppecke es un acumulador de plomo ácido de electrolito líquido y ciclo profundo que normalmente se utiliza en aplicaciones solares aisladas.

Referencia: Bat.6X2V 6 OPZS600 HOPPECKE

Plazo de entrega: Consultar

1 519,99 €

Figura 48: Catálogo banco de baterías

Fuente: Hoppecke

Battery Details

The properties of this battery appear below. Once a battery is created you cannot edit its properties. To change a battery's properties, create a copy (click New in the Battery Inputs window) and modify the properties of the copy. Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

General

Description: Hoppecke 6 OPzS 600
 Abbreviation: H600
 Manufacturer: Hoppecke
 Website: www.hoppecke.com
 Notes: Vented lead-acid, tubular-plate, deep-cycle battery.

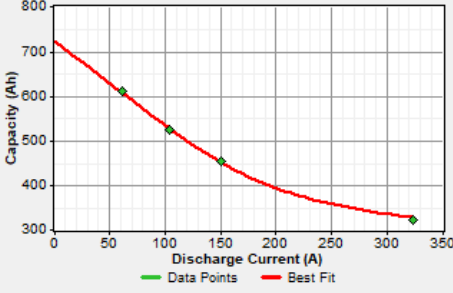
Nominal capacity: 600 Ah
 Nominal voltage: 2 V
 Round trip efficiency: 86 %
 Min. state of charge: 30 %
 Float life: 20 yrs
 Lifetime throughput: 2,083 kWh
 Suggested value: 2,071 kWh
 Max. charge rate: 1 A/Ah
 Max. charge current: 122 A

Calculated parameters

Maximum capacity: 723 Ah
 Capacity ratio, c: 0.341
 Rate constant, k: 1.02 1/hr

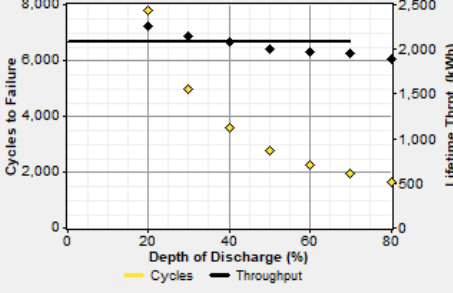
Capacity curve

Current (A)	Capacity (Ah)
61.00	610.00
104.60	523.00
151.00	453.00
324.00	324.00



Lifetime curve

Depth of Discharge (%)	Cycles to Failure
20	7,820
30	4,960
40	3,600
50	2,780
60	2,270
70	1,930
80	1,640



Export XML Help Close

Figura 49: Datos y gráficas de descarga del banco de baterías

Fuente: Homer Energy

Realizando una nueva simulación con las baterías con vasos de descarga profunda, se obtienen los siguientes resultados.

Sensitivity Results Optimization Results

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	G1	Label (kW)	H600	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	0.64	1	4.5	2	5	\$ 6,699	261	\$ 10,032	0.833	0.55	112	302
	0.96		4.5	2	5	\$ 6,367	332	\$ 10,611	0.881	0.32	170	457
		1	4.5	2	5	\$ 6,203	501	\$ 12,611	1.048	0.00	340	932
			4.5	2	5	\$ 5,623	765	\$ 15,400	1.279	0.00	615	1,688
	1.92		4.5		5	\$ 4,111	940	\$ 16,121	1.339	0.00	1,187	3,298
	1.60	1	4.5		5	\$ 4,443	924	\$ 16,251	1.350	0.00	1,149	3,191
			4.5			\$ 1,489	1,614	\$ 22,126	1.838	0.00	2,048	5,688
		1	4.5		5	\$ 3,203	1,572	\$ 23,293	1.935	0.00	1,940	5,388

Figura 50: Resultados optimización
Fuente: Homer Energy

Aunque el tiempo de vida útil de las baterías sube a los 10 años, la fuerte inversión inicial, y el alto coste de reemplazarlas no hace rentable el instalar estas baterías de descarga profunda.

7.4.3 Paneles monocristalinos

Ahora vamos a ver si resulta rentable sustituir los paneles policristalinos por otros de silicio monocristalino de alta eficiencia pero con un ratio superior de €/Wp.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
0.310	296	296	0

Properties

Output current AC DC

Lifetime (years)

Derating factor (%)

Slope (degrees)

Azimuth (degrees W of S)

Ground reflectance (%)

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
0.310
0.620
0.930

Advanced

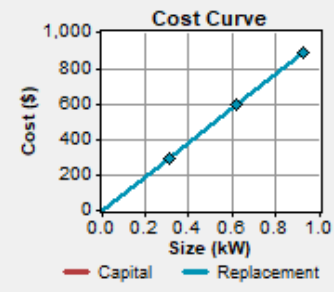
Tracking system

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C)

Nominal operating cell temp. (°C)

Cost Curve



Cost (\$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Figura 51: Input panel monocristalino
Fuente: Homer Energy

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	G1	Label (kW)	FS260	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	0.62	1	4.5	2	5	\$ 4,449	204	\$ 7,061	0.587	0.71	66	122
	0.62		4.5	2	5	\$ 3,869	262	\$ 7,219	0.600	0.49	113	193
		1	4.5	2	5	\$ 3,857	331	\$ 8,090	0.672	0.17	183	295
			4.5	2	5	\$ 3,277	491	\$ 9,554	0.794	0.00	323	505
	0.93	1	4.5		5	\$ 4,091	1,007	\$ 16,967	1.409	0.00	1,252	3,478
	0.93		4.5		5	\$ 3,511	1,071	\$ 17,196	1.428	0.00	1,348	3,745
			4.5			\$ 1,489	1,614	\$ 22,126	1.838	0.00	2,048	5,688

Figura 52: Resultados optimización
Fuente: Homer Energy

Como se puede apreciar, el NPC en este caso es superior al de los paneles policristalinos, por lo que no sería rentable su instalación. Sin embargo si el tiempo de evaluación del proyecto fuera más largo, por ejemplo 30 años, interesaría instalar los paneles monocristalinos, ya que tienen una mayor vida útil.

7.5 Análisis económico y conclusiones

A continuación se presentan los diferentes resultados obtenidos con el kit formado por 2 paneles policristalinos Waaree 24V 320Wp, 1 aerogenerador 600W, 2 baterías formula solar 260 Ah, el grupo electrógeno diésel de 4,5 kW y el inversor/regulador atersa 5kVA, que es la combinación de elementos que menor coste total supone.

La Figura 53 representa el desglose del coste por cada elemento a lo largo de la vida útil del proyecto.

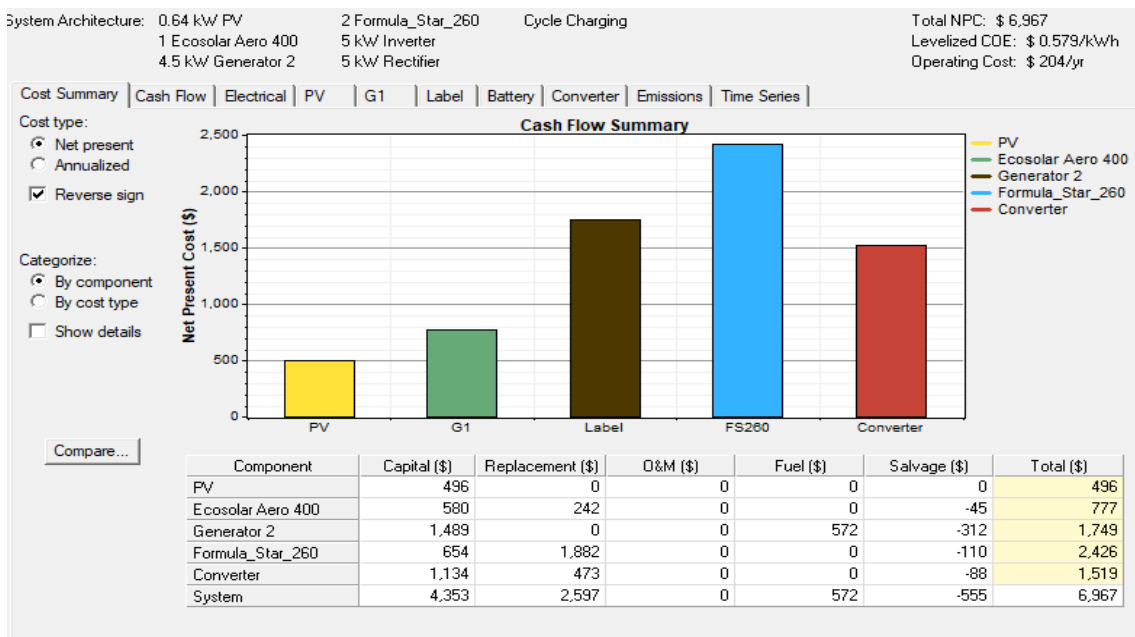


Figura 53: Desglose del coste de los elementos de la instalación
Fuente: Homer Energy

Tal y como se comentó anteriormente, las baterías suelen ser el que requiere mayor gasto de toda la instalación, debido a su alto coste, y a su baja vida útil en instalaciones con ciclos de carga-descarga.

En cuanto al gasto que supone cada sistema durante cada año del proyecto, se incluye la siguiente gráfica.

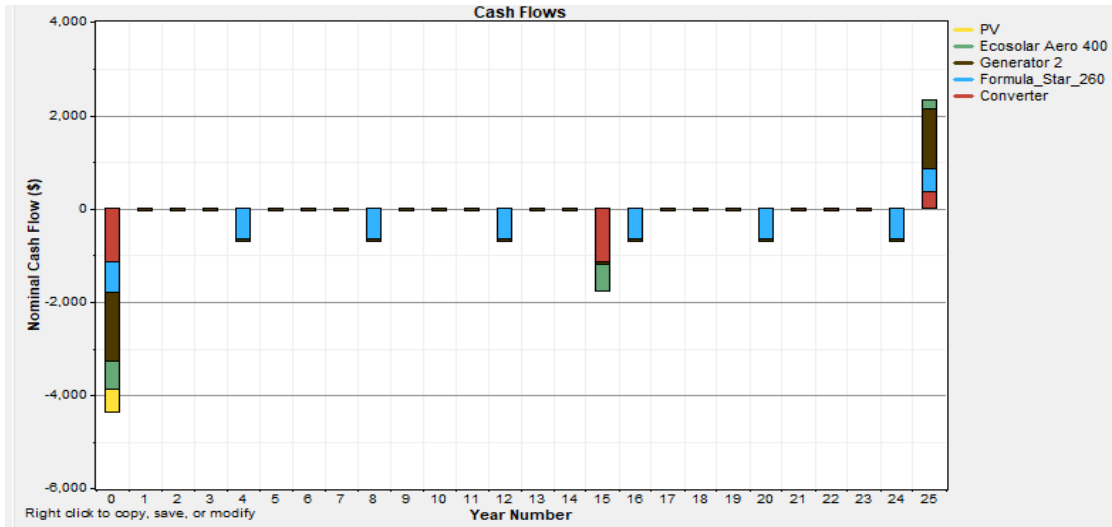


Figura 54: Desglose del coste por año de los elementos de la instalación

Fuente: Homer Energy

Comentar sobre la Figura 54 que las baterías necesitan ser reemplazadas cada 4 años, el aerogenerador y el inversor/regulador se sustituye a los 15, y tanto los paneles como el grupo electrógeno no es necesario sustituirlos en los 25 años de duración.

En la siguiente figura, podemos ver el histograma de la carga de las baterías, así como la energía que almacenan, su vida útil o la autonomía.

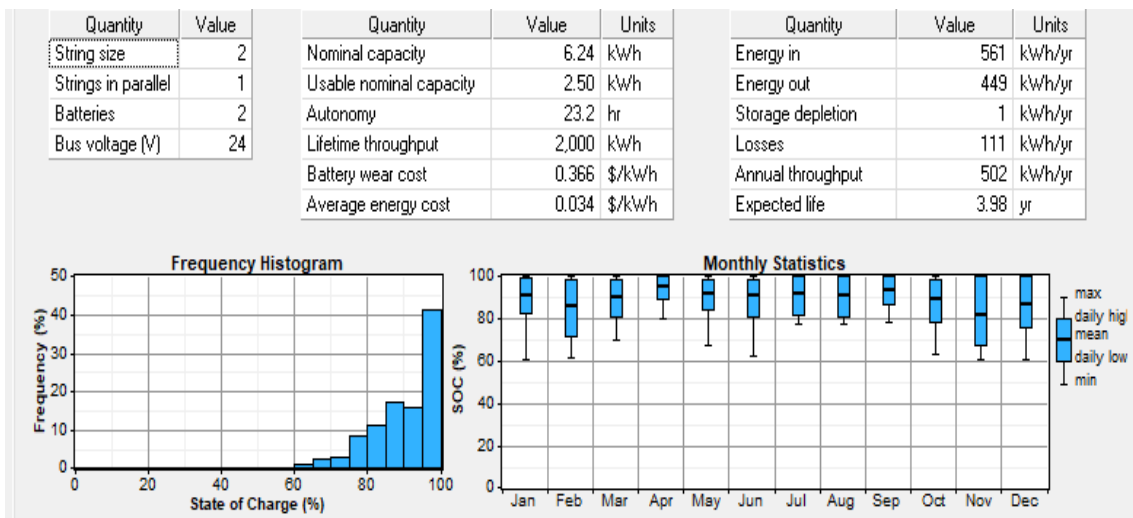
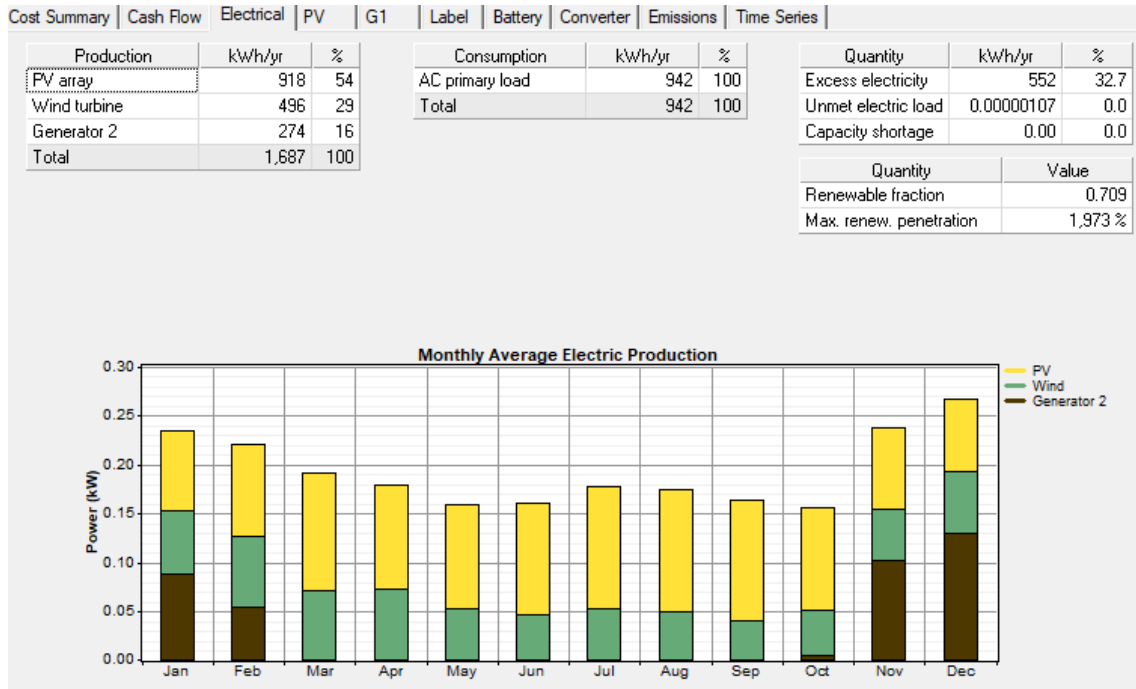


Figura 55: Histograma de carga y parámetros de las baterías

Fuente: Homer Energy

En cuanto a la producción energética que recae a cada sistema a lo largo del año, destacar que la eólica es prácticamente constante durante cada mes, y el generador diésel es necesario durante los meses de invierno, cuando la energía solar es más escasa, sobre todo para alimentar el alto consumo de la bomba de calor. Se podría estudiar la instalación de una caldera de gasoil, para así aumentar la eficiencia global del sistema.



*Figura 56: Producción mensual de cada sistema
Fuente: Homer Energy*

Con la Figura 56 pueden explicarse las principales diferencias que existen en el dimensionado de la instalación mediante el método del IDAE, y el utilizado por el software Homer.

Cuando realizamos los cálculos de forma manual, proyectamos la capacidad del sistema para cubrir las necesidades del mes más desfavorable del año, que suele ser diciembre, por el elevado consumo y la escasa producción de energía solar. Sin embargo, el software puede hacer un cálculo mucho más preciso, ya que dispone datos de perfiles de consumo y generación a lo largo del año, datos económicos de los diferentes elementos y vida útil de los mismos.

Es por eso que en los meses de invierno, sale más económico usar el generador diésel que sobredimensionar la instalación para cubrir la demanda con energía renovable, y el resto del año tener un excedente de energía que no vamos a consumir ni vender. Además, esta configuración de los elementos de la instalación, apenas tiene 23,2 horas de autonomía, por los 2 días que se utilizaron para el método que estipula el IDAE.

Como apunte económico final, el coste de la acometida a la red pública, como se adjunta en los anexos, se presupuestó en el año 2002, y ascendía a más de 16000€ de aquella época, que con la inflación, a buen seguro supondría una mayor cantidad 15 años más tarde. A lo que habría que sumar el coste de los 942 kWh que se consumen anualmente durante los 30 años.

Comparándolo con el coste que supone tanto la instalación, el consumo de energía y el mantenimiento de la instalación híbrida que es de aproximadamente 7000€, supone un gran ahorro.

8) Bibliografía

- [1] “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión”.
- [2]”Plan de energías renovables 2011-2012” IDAE .
- [3] “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red”. IDEA
- [4] Guía de Energías Renovables para PYMES.
- [5] Diseño de Sistemas Fotovoltaicos PERPIÑÁN, Ó., CASTRO, M. y COLMENAR, A. (2012).
- [6] Manual de uso del software Homer
- [7] “Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada”. Miguel Pareja Aparicio
- [8] “Instalaciones eléctricas en media y baja tensión”. José García Trasancos.
- [9] LORENZO, E. (2014). Ingeniería Fotovoltaica. Volumen III. 1ª ed.

Páginas web

- [10] <https://www.google.es/maps?source=tlds&hl=gl> Google Maps
- [11] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> PVGIS
- [12] <https://autosolar.es/kit-solar-aislada/kit-solar-eolico-5000w-24v-6400whdia> AutoSolar
- [13] <https://www.damiasolar.com/> DamiaSolar