



TRABAJO FIN DE GRADO

Título: Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

Autor: Pablo Pérez Martínez

Titulación: Grado en ingeniería electrónica industrial y automática.

Profesor: Vicente Salas Merino

Fecha: 24/02/2015

Objetivos

Objetivo principal

El objetivo principal a alcanzar con este proyecto es el dimensionamiento de una posible instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica colocada en una casa unifamiliar que ahora mismo está utilizando un sistema aislado con un generador de corriente alterna. Se ha elegido este caso porque, aunque aún no está muy extendido el uso de instalaciones fotovoltaicas en este tipo de casas en nuestro país, podría darse el caso de que resultara interesante en un futuro cercano por las posibilidades que tienen estos sistemas hoy en día debido al avance en la tecnología en este campo y a la reducción de los precios tanto de producción y fabricación, como de venta al público de estos sistemas. Aunque sería más común elegir un sistema con conexión a red, la ley está cambiando y hay posibilidad de que cambien de forma en que deje de ser rentable totalmente, por lo que no se ha tenido en cuenta la posibilidad

Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo principal se tiene que llegar a los siguientes objetivos:

- 1) Modelado del sistema real a utilizar mediante un estudio de consumo eléctrico del sistema real y la irradiación de la zona específica.
- 2) Realización de simulaciones con el programa IHOGA con diferentes niveles de integración fotovoltaica, llegando desde el 0% hasta un 100% de kilovatios de fotovoltaica instalados dependiendo del perfil de consumo.
- 3) Identificar mediante las gráficas y reportes obtenidos los posibles problemas que pueden darse en cada uno de los casos simulados como pueden ser el ruido del generador, la baja vida útil de los componentes por sobre utilización, la falta de espacio...
- 4) Estudiar y organizar las gráficas y simulaciones obtenidas para optimizar el presupuesto y obtener el caso más interesante para nuestro modelo dentro de lo posible con el software que se utiliza y teniendo en cuenta los problemas vistos en el objetivo anterior.
- 5) Realizar un informe en el que se expongan las conclusiones, las posibles mejoras, alternativas y los posibles trabajos futuros posibles a realizar.



ÍNDICE

| | |
|---|---|
| 1-Introducción | 3 |
| 2-Situación actual..... | 2 |
| 3-Sistemas fotovoltaicos | 2 |
| 3.1- Sistemas Híbridos | 2 |
| 3.2- Elementos | 2 |
| 5-Dimensionamiento y análisis de las simulaciones | 3 |
| 6-Conclusiones..... | 3 |
| 7-Bibliografía | 3 |
| 8-Índice de anexos | 3 |



1-Introducción

Las energías renovables son aquellas que producen electricidad a partir de fuentes inagotables bien porque se encuentran en enormes cantidades o porque se regeneran naturalmente. Las energías renovables existentes hoy en día son: la eólica, la geotérmica, la hidroeléctrica, la solar, mareomotriz, la undimotriz, la biomasa y los biocombustible. En este proyecto se tratará únicamente sobre la solar, en concreto sobre la de tipo fotovoltaico.

La generación de energía fotovoltaica consiste principalmente en el uso de paneles solares fotovoltaicos que producen electricidad cuando reciben la luz del sol directamente sobre ellos.

La energía solar desde hace unos años experimenta un enorme crecimiento debido sobre todo al avance tecnológico, que ha aumentado la eficiencia de los paneles y a las subvenciones de los gobiernos que, aunque en los últimos años se han visto muy reducidas, ayudaron a la implantación de los primeros sistemas y permitieron que se siguiera investigando y mejorando la tecnología.

Debido al aumento de los costes en las formas tradicionales de abastecer de energía a los usuarios, y al enorme abaratamiento de las tecnologías de tipo fotovoltaico, se plantea el caso de sustituir un sistema convencional aislado con generador de corriente alterna en una casa de un particular por un sistema aislado fotovoltaico.

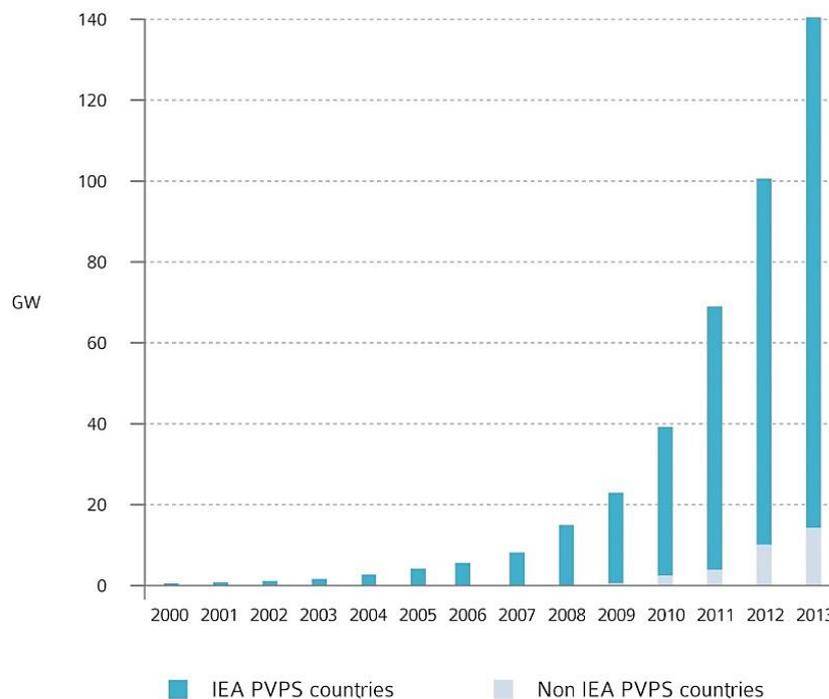
Para este tipo de proyectos cabría la posibilidad de hacer un sistema interconectado con la red eléctrica, pero la legislación española no deja muy claro estos sistemas y además, están pendientes de aprobarse nuevas tasas que cobrarán sólo por estar conectado a red, independientemente del consumo, por lo que no será rentable esta solución.

En resumen este proyecto pretende, mediante simulaciones sobre un entorno real, demostrar la viabilidad tanto económica como tecnológica de la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica en domicilios particulares en sustitución de un sistema aislado con un generador AC de gasolina convencional.

2-Situación actual

El sector de la fotovoltaica ha experimentado un enorme crecimiento en los últimos años. Esto es debido a varios factores, entre los que se cuentan la popularización de estos sistemas en el mundo, la bajada de precio y el avance de la tecnología de los módulos y otros componentes necesarios para este tipo de instalaciones.

EVOLUTION OF PV INSTALLATIONS (GW)



SOURCE IEA PVPS, EPIA.

Ilustración 1: Evolución de instalaciones de fotovoltaica.

Fuente: IEA PVPS, EPIA

Las primeras tecnologías de producción de energía con tecnología fotovoltaica se inventaron en los 50, pero eran extremadamente caras y nadie estaba interesado en invertir en ellas debido a que no producían suficiente energía para que se usaran en el consumo real. La primera aplicación útil que

tuvo fue en el campo aeroespacial, para proporcionar una energía de larga duración para satélites. Esto propició un gran avance en la tecnología de paneles debido al aumento del presupuesto para su investigación, que permitió su salida al mercado de consumo fuera de aplicaciones de este tipo ya en los 70, aunque su precio seguía siendo muy alto en comparación con las tecnologías de producción de energía del momento.

Una vez empezado el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos para el uso general, el precio de los paneles y otros componentes relacionados empezó a bajar enormemente y la eficiencia aumento mucho debido a que se comenzaron las investigaciones en este sector. En la ilustración 1 se puede observar la reducción del precio en \$/W de los paneles fotovoltaicos desde 1977 hasta 2014.

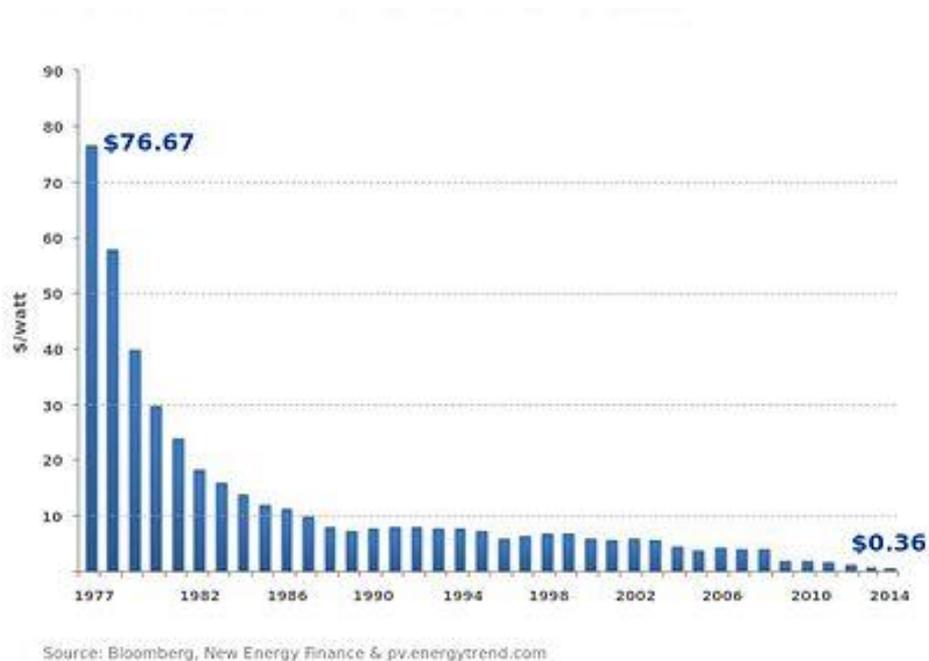


Ilustración 2: Precio de panels desde 1977 hasta 2014.

Fuente: pv.energytrend.com

En cuanto a las tecnologías de paneles, al principio solo se hacían comunes de silicio y tenían una eficiencia muy limitada, pero con el paso de los años y el avance de la tecnología, la eficiencia de los paneles de silicio ha aumentado enormemente llegando en algunos casos hasta casi el 30%, también han aparecido nuevas tecnologías como pueden ser las células de lámina delgada, que aunque hoy en día tienen una eficiencia más baja que las de silicio, son más baratos y se espera que con el refinamiento de la tecnología aumente su eficiencia también.

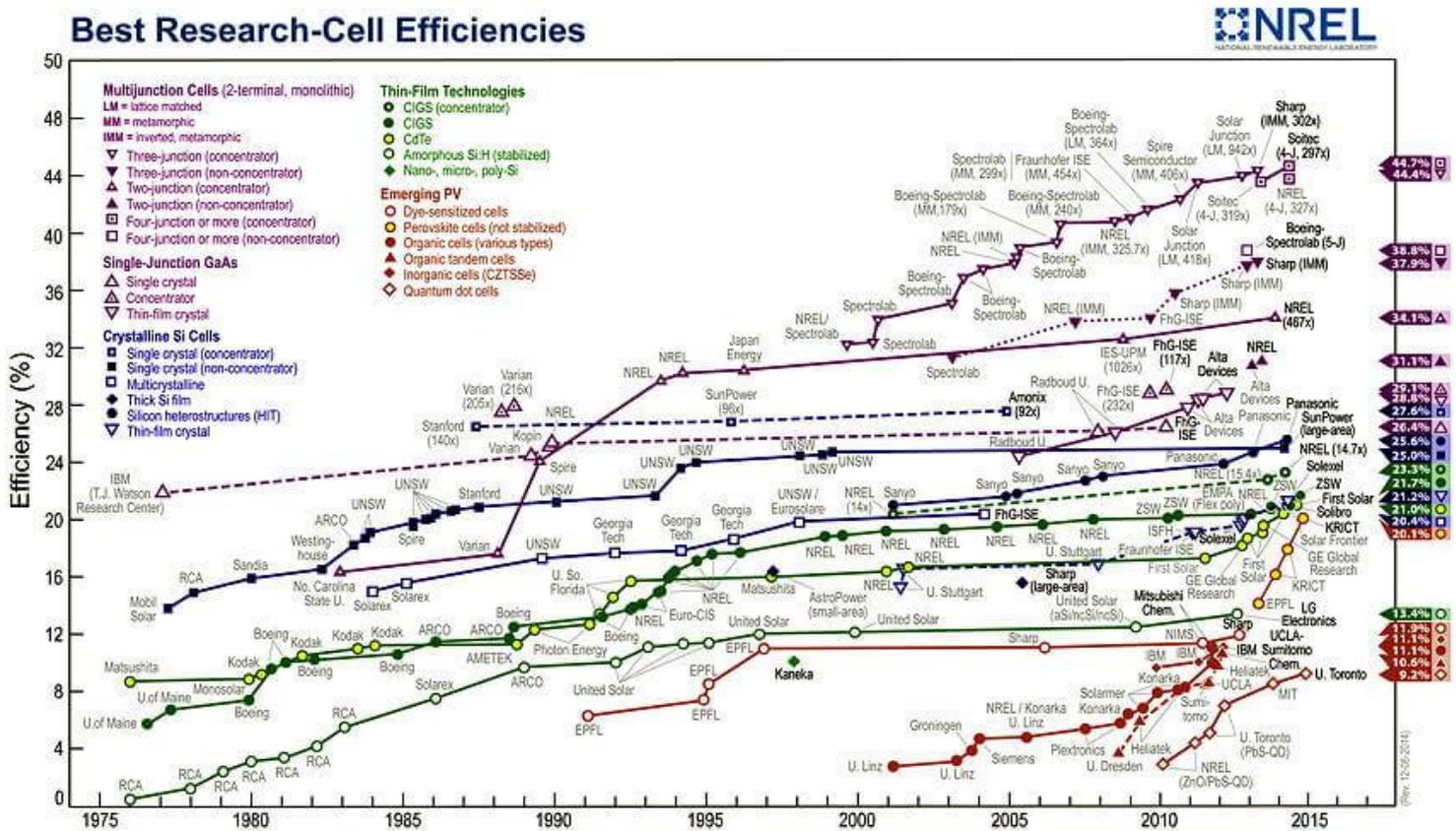
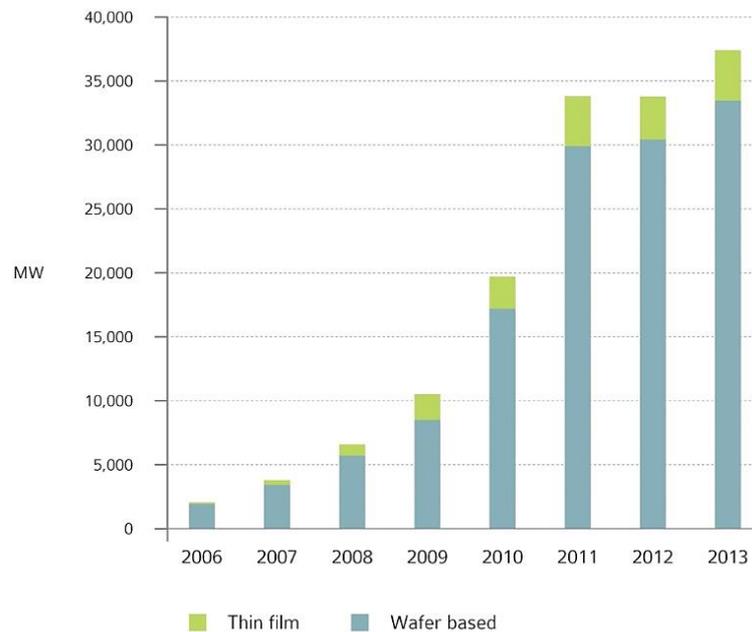


Ilustración 3: Eficiencia de distintos tipos de paneles hasta 2015.

Fuente: National renewable energy laboratory

Debido a que la tecnología de paneles de lámina fina es relativamente reciente, no son tan comunes en el mercado como las de silicio cristalino, pero con el tiempo están ganando popularidad como se aprecia en la gráfica inferior.

PV MODULE PRODUCTION PER TECHNOLOGIES IN IEA
PVPS COUNTRIES 2006-2013 (MW)



SOURCE IEA PVPS, RTS CORPORATION.

Ilustración 4: Comparación de la producción de panels cristalinos y de lamina fina.

Fuente: IEA PVPS

Los inversores fotovoltaicos por su parte también han evolucionado mucho con el tiempo, ya que al principio se usaban inversores normales que se modificaban ligeramente para que fueran utilizables en sistemas fotovoltaicos, pero, con el avance de la tecnología, además de tener una eficiencia mayor que hace unos años, se usan inversores especiales fotovoltaicos que incluyen seguidor del punto de máxima potencia (MPPT), anti-islanding y otras funcionalidades específicas para este tipo de instalaciones. También existen micro inversores, que se colocan en un solo panel para hacer instalaciones más modulares, pero en nuestro caso no usaremos de este tipo.

En el caso de las baterías, aparte de las baterías de litio para este tipo de aplicaciones que ya se empiezan a usar, la evolución no ha sido tan grande como en el caso de los demás componentes, y las baterías de litio siguen siendo muy caras por lo que en este proyecto no se han tenido en cuenta.

En España hoy en día el autoconsumo no está tan extendido como en Alemania u otros países europeos a pesar de ser uno de los países con mayor irradiación, debido sobre todo a la falta de ayudas y publicidad por parte del gobierno, pero, al ser cada vez más rentable, está aumentando la

cantidad de proyectos de este tipo que se están llevando a cabo cada vez más.

3- Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico se puede definir como el conjunto de componentes que se usan para transformar la energía solar en energía eléctrica.

Hay varios criterios para clasificar un sistema fotovoltaico:

- Por la existencia de conexión a la red eléctrica:
 - Interconectados: Son sistemas que utilizan parte o completamente la fotovoltaica para el consumo pero cuando esta no es suficiente para cumplir con el gasto del sistema usan la red eléctrica.
 - Aislados: No tienen una conexión a la red eléctrica por lo que si necesitan más energía que la que produce solamente la parte fotovoltaica del sistema tienen que recurrir a generadores externos, como generadores diésel, de gasolina o gas.
- Por sus componentes:
 - Completamente fotovoltaico: Son sistemas que utilizan únicamente paneles fotovoltaicos para generar la energía necesaria. Normalmente usan algún tipo de medio de almacenamiento de energía, como baterías, para mantener el sistema funcionando aun cuando los paneles no aporten energía o cuando la energía aportada por los paneles no sea suficiente.

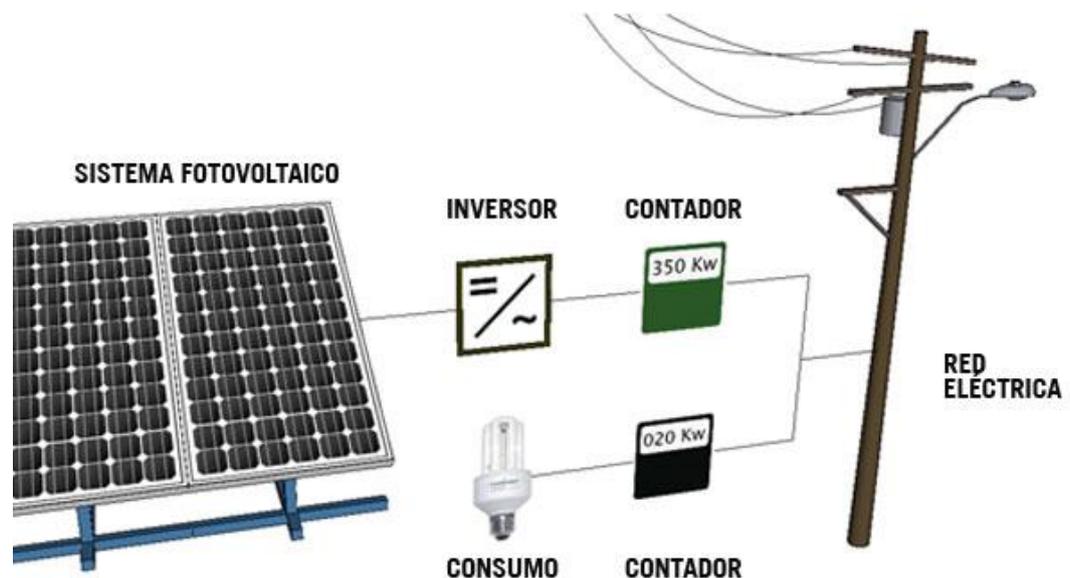


Ilustración 5: Sistema completamente fotovoltaico para la venta de energía.

- Híbrido: No están conectados a la red pero cuentan con algún tipo de generador, que puede ser de gas de gasolina, diésel..., o estar conectado a la red eléctrica para suplir la falta de energía de los paneles. Si lleva un generador auxiliar también suelen llevar sistemas de almacenamiento de energía, puesto que el coste del combustible del generador auxiliar suele ser bastante elevado y se busca reducir su uso lo más posible, en cambio, si está conectado a la red eléctrica no le suele hacer falta llevar baterías ya que la red siempre está disponible y es barata en comparación con comprar un banco de baterías extra.

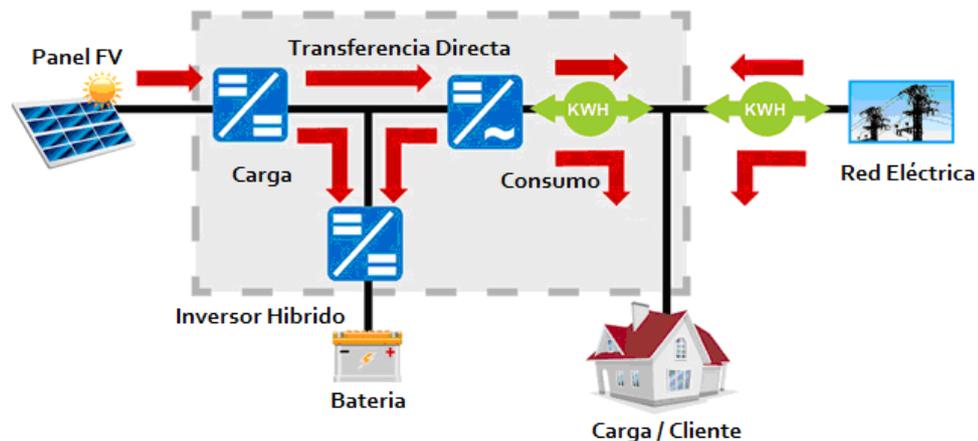


Ilustración 6: Sistema fotovoltaico híbrido con panels, red eléctrica y baterías.

Fuente: <http://www.energiasinteligentes.com/>

- Por su finalidad:
 - Autoconsumo: Son sistemas que su finalidad es consumir si no todo, la mayoría de lo que se produce. Suelen ser los que llevan baterías o fuentes auxiliares para evitar desperdiciar energía y/o un corte en la alimentación de las cargas.
 - Venta: Son sistemas que apuntan a verter toda la energía que se produce a la red eléctrica para sacar beneficio monetario. Suelen ser completamente fotovoltaicos, no tienen baterías o generadores auxiliares y también suelen ser de mucho mayor tamaño que los de autoconsumo.

Este proyecto está orientado hacia el autoconsumo, puesto que se pretende usar en una casa, además en España, para montar un sistema interconectado hay muchas barreras que no interesan, por lo que sólo puede ser un sistema aislado. En el proyecto se ha tenido en cuenta la posibilidad de un sistema completamente fotovoltaico, pero al final se optó por un sistema híbrido con generador auxiliar por tener la ventaja de que no hay posibilidad de quedarse sin suministro, además de ser más barato a largo plazo.

3.1- Sistemas Híbridos

Como se ha dicho en el apartado anterior, para este proyecto se ha optado por un sistema híbrido con generador auxiliar, en este caso de gasolina. Los sistemas híbridos son los más usados para cualquier aplicación que no sea vender la energía, ya que aseguran el suministro constante del sistema aunque no haya sol sin tener una cantidad exagerada de baterías, que aumentarían mucho los costes del sistema.

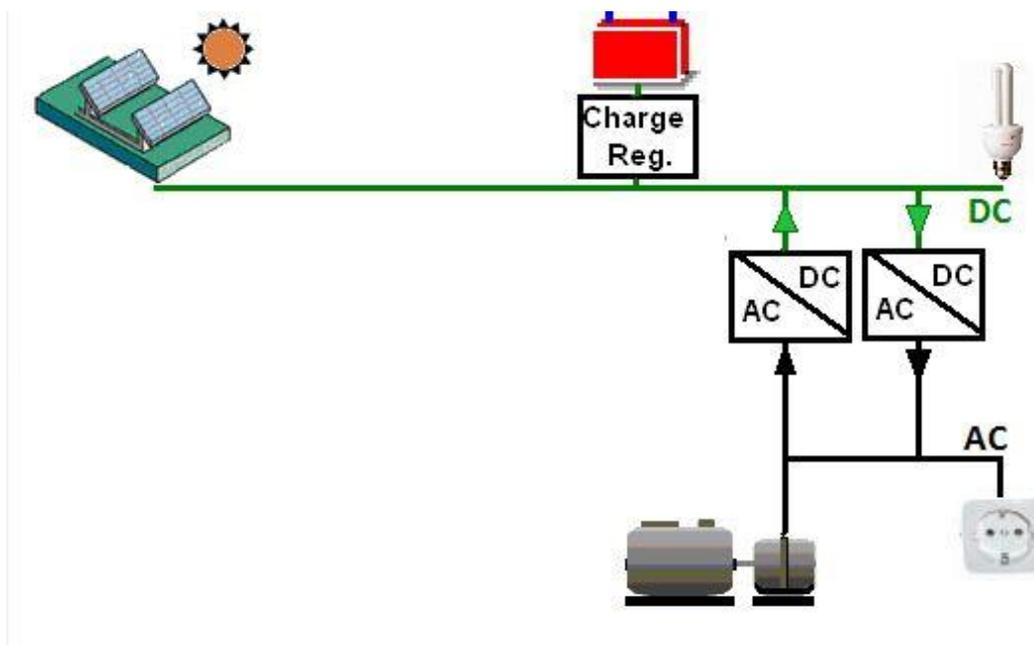


Ilustración 7: Sistema fotovoltaico híbrido con paneles, generador auxiliar y baterías.

Fuente: iHoga

3.2- Elementos

Los elementos básicos que forman un sistema fotovoltaico aislado híbrido son:

- Generador fotovoltaico.
- Generador auxiliar de corriente alterna.
- Baterías.
- Inversor.
- Cargador de baterías.

Además de estos elementos también se encuentran los elementos comunes de cualquier instalación eléctrica normal, pero en este caso no nos preocupan.

- **Generador fotovoltaico**

En un sistema fotovoltaico el elemento más importante es el generador fotovoltaico, que genera la mayor parte de la energía que usará el sistema. Un generador fotovoltaico consiste en uno o un grupo de varios paneles conectados en serie y/o en paralelo.

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que aprovechan la radiación solar incidente sobre ellos transformándola en energía eléctrica. Los paneles están formados por celdas que, mediante el efecto fotoeléctrico generan electricidad.

Los paneles solares en un sistema fotovoltaico se montan igual que si de una pila eléctrica se tratara, en serie para aumentar la tensión entre los extremos y en paralelo para aumentar la máxima corriente que pueden dar y para aumentar la potencia total del sistema sin aumentar más la tensión de trabajo.

Hay varios tipos de paneles fotovoltaicos dependiendo de su tecnología de construcción y sus componentes:

- Silicio cristalino: Están hechos de células de silicio mono.-cristalino o poli-cristalino. Los monocristalinos son más eficientes y de mayor calidad pero también son más caros. Este tipo de paneles son los más eficientes aunque también

son los más pesados y, aunque hoy en día sigan siendo los más utilizados, son más caros que los de capa delgada.

- Capa delgada: Están hechos de una capa fina de un semiconductor sobre un sustrato. Los hay de distintos materiales como: silicio amorfo, CdTe, CIS, CIGS, y otros compuestos orgánicos. Son más baratos que los cristalinos y, aunque su eficiencia es menor, es comparable con la de los cristalinos. Son una tecnología todavía en desarrollo, al contrario que los paneles cristalinos, que ya llevan muchos años como una tecnología consolidada, por lo que en un tiempo serán una alternativa mucho más barata.



Ilustración 8: Grupo de paneles fotovoltaicos.

Fuente: <http://energiasrenovadas.com/>

En Enero de 2010, aproximadamente el 78% de la potencia instalada a nivel mundial de fotovoltaica estaba conformada por paneles de silicio cristalino. El otro 22% estaba compuesto de paneles de lámina delgada de silicio amorfo y de CdTe.

Entre los paneles de lámina delgada hay mucha diferencia en sus características dependiendo del material del que estén contruidos:

- Silicio amorfo: Los paneles de silicio amorfo se pueden construir con una gran variedad de sustratos tanto rígidos, como flexibles y de bajo coste. Este tipo de paneles prioriza el baj coste de los paneles antes que la eficiencia de los mismos.

- **Telururo de Cadmio:** Los paneles con esta tecnología producen una gran cantidad de energía en un amplio rango de condiciones climáticas, funcionando bien en ambientes con poca luz y con buenos coeficientes de respuesta a temperaturas.
- **CIGS/CIS:** Son compuestos de cobre, indio, galio y selenio. Estos compuestos absorben la luz solar más eficientemente que el silicio cristalino y, aunque el indio es un semiconductor relativamente caro y se necesitan capas ligeramente más gruesas que en otras tecnologías de capa delgada, la cantidad de material necesario es mucho menor que en el caso de los paneles de silicio cristalino. Aunque este método sigue en una fase de desarrollo muy temprana tiene el potencial de ser la tecnología con mayor eficiencia en la conversión de todas las de capa delgada.

- Generador auxiliar de corriente alterna

Un sistema fotovoltaico normalmente necesita algún tipo de fuente de energía auxiliar para suplir el tiempo que los paneles no están produciendo energía pero se mantiene una cierta cantidad de consumo que supera la capacidad de las baterías, por la noche, por ejemplo.

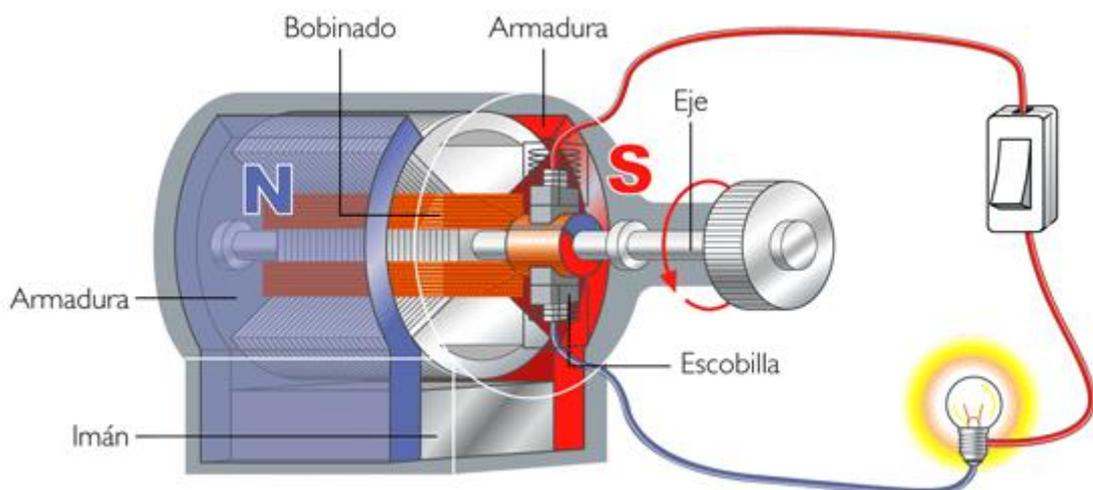


Ilustración 9: Funcionamiento de un generador de corriente alterna.

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/>

Los tipos más comunes son los de gasolina, diésel o gas. El funcionamiento de los diferentes tipos de generadores es el mismo, lo único que cambia es el tipo de combustible y la construcción del generador.

Los generadores de gas necesitan grandes tanques de combustible que no son viables para una casa, aunque sí para instalaciones más grandes. En cuanto a los generadores diésel o de gasolina, la única diferencia es el precio del combustible, que es más caro en el caso de la gasolina por lo que suele ser mejor esta opción.



Ilustración 10: Generador de gasolina.

Fuente: <http://www.generatordieselengine.com/>

En el caso de este proyecto se ha utilizado un generador de gasolina en lugar de uno diésel a pesar de que el diésel sea más barato porque en el programa de simulación utilizado no hay un generador diésel tan pequeño como el que se necesita.

- Baterías

En los sistemas fotovoltaicos las baterías se utilizan principalmente para almacenar la energía de sobra que produce el generador fotovoltaico sobre todo en horas centrales del día, cuando la irradiación es mayor, y usarla en los momentos en los que la irradiación es más baja que el consumo del sistema, como puede ser por la noche.

Las baterías son dispositivos que almacenan energía química para su posterior uso como energía eléctrica. Las baterías están formadas por celdas conectadas en serie para llegar a una tensión de trabajo decente.

Hay muchos tipos de baterías para este tipo de aplicaciones entre las que se cuentan de Plomo-ácido, Níquel-Cadmio, Níquel-Hierro, Ion-Litio... Aunque las más usadas son las de Plomo-ácido, ya que son las más baratas que presentan unas características apropiadas para aplicaciones fotovoltaicas. También se usan a veces las de Níquel-Cadmio para aplicaciones profesionales y últimamente también se han empezado a comercializar las de Ion-Litio debido al avance de esta tecnología, pero aún siguen siendo muy caras.



Ilustración 11: Batería Plomo-ácido.

Fuente: <http://fadisel.com/>

En el caso de este proyecto se han usado baterías de Plomo-ácido, puesto que son las que tienen posibilidad de ser de menor tamaño y también son las más baratas.

- Inversor

El generador fotovoltaico produce corriente continua, y las cargas de una casa normal son de corriente alterna, por lo que se necesita un dispositivo que transforme la corriente alterna en continua. Para esto se usa un inversor.

Hay muchos tipos de inversores fotovoltaicos específicos hoy en día, pero se pueden dividir en dos grandes grupos: los aislados y los conectados a red. Además los aislados se pueden subdividir en: aislados, interconectados a red y bidireccionales.

Entre los de tipo aislado, hoy en día en el mercado hay tres tipos de inversores dependiendo de su señal de salida: De onda cuadrada, de onda sinusoidal y de onda sinusoidal modificada. Estos tres tipos tienen diferentes niveles de eficiencia y de distorsiones que pueden afectar a los dispositivos electrónicos de diferentes maneras como se puede ver en la siguiente tabla.

| Inversores de onda cuadrada | Inversores de onda sinusoidal modificada | Inversores de onda sinusoidal |
|--|---|--|
| Tecnología simple. | Mejor eficiencia | Tecnología similar a la de los inversores de conexión a red pero más simple y sin las protecciones o sincronización con la red |
| Riesgo de armónicos | Menos armónicos que en los de onda cuadrada | Alta eficiencia |
| Sin regulación de la tensión de salida | Bueno para alimentar muchos dispositivos | Valido para practicamente cualquier aplicación |

Tabla 1: Características de los distintos tipos de inversores aislados.

Los interconectados a red pueden funcionar tanto como ligados a red como aislados. Cuando la red eléctrica está disponible pueden utilizarla para alimentar al sistema o para verter el exceso de energía a la misma y cuando la red no está disponible, funcionan como un inversor aislado normal.

Los inversores bidireccionales tienen dos puertos, uno de alterna y otro de continua. El puerto de continua está conectado al banco de baterías y el de alterna está conectado a la línea de alterna, donde se puede poner la red o algún tipo de generador y las cargas de AC.

Los inversores conectados a red no funcionan si no existe una red eléctrica a la que se puedan conectar y funcionan como una fuente de corriente. Suelen ser más baratos que otros inversores usados en fotovoltaica.

En este caso, como no existe red eléctrica se usará un inversor aislado. Hay inversores que integran más dispositivos como el regulador de carga de las baterías dentro del propio inversor y otros componentes necesarios para un sistema fotovoltaico, como conexión a internet o herramientas de configuración remota para el usuario.



Ilustración 12: Inversor fotovoltaico.
Fuente: SMA

Para sacar el mayor beneficio de un sistema fotovoltaico lo mejor es tener un inversor bien dimensionado y específico para este tipo de instalaciones. Un inversor fotovoltaico debe estar pensado para que funcione a la máxima eficiencia posible y, además debe tener características como el seguimiento del punto de máxima potencia.

Rendimiento Inversor S-1200/24V

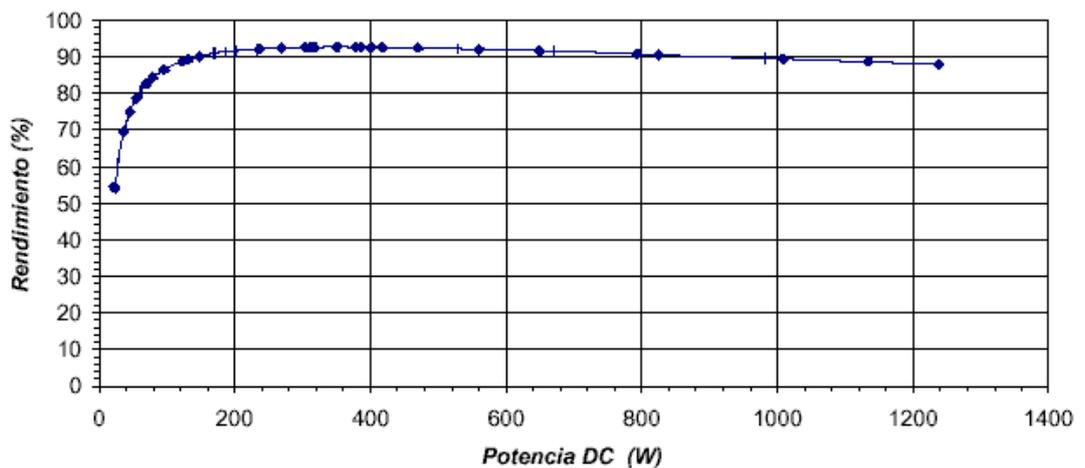


Ilustración 13: Rendimiento de un inversor.

Fuente: <http://www.solener.com/>

El seguimiento de punto de máxima potencia es un mecanismo que tienen los inversores fotovoltaicos que obliga a los paneles solares a trabajar a una determinada tensión y corriente, que es la de mayor potencia generada, independientemente de la irradiación que le llegue al panel y de la potencia que el sistema esté demandando en cada momento.

Maximum

Power Point Tracking

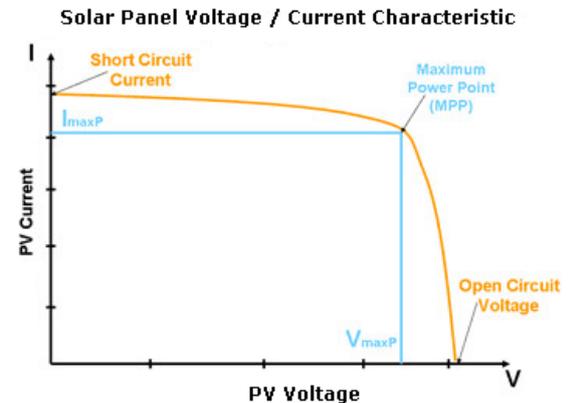
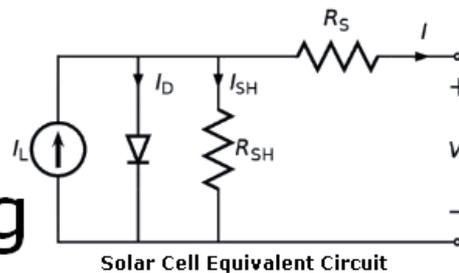


Ilustración 14: Explicación del seguimiento de punto de máxima potencia.

Fuente: <http://bryanwbuckley.com/>

- Cargador de baterías

En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos aislados que tienen baterías es necesario un cargador de baterías, aunque hay algunos inversores que incluyen esta funcionalidad actualmente, por lo que hay veces que no es necesario.



Ilustración 15: Cargador de baterías.

Fuente: <http://www.supertiendasolar.es/>

La principal utilidad de un cargador de baterías es regular la correcta carga de las mismas controlando la tensión y el paso de la corriente a las mismas y evitando sobrecargas y sobredescargas que puedan reducir su vida útil. También sirven para maximizar la energía que aporta el generador fotovoltaico ya que gestionan que parte va a las baterías y que parte va hacia

el consumo en cada momento, teniendo en cuenta el estado de carga de las baterías y el consumo instantáneo. Algunos reguladores también realizan el seguimiento del punto de máxima potencia.

Existen cuatro tipos generales de cargadores dependiendo del método que usan para regular la carga: de tipo derivativo, de tipo serie, de tipo PWM y de tipo MPPT.

Los de tipo derivativo fueron los primeros en desarrollarse, y son los más simples que todavía se pueden encontrar en el mercado debido a su bajo precio, fiabilidad y su diseño simple. Su funcionamiento consiste en usar la energía de los paneles para cargar las baterías hasta que llegan a su máximo y después enviar la energía directamente al sistema.

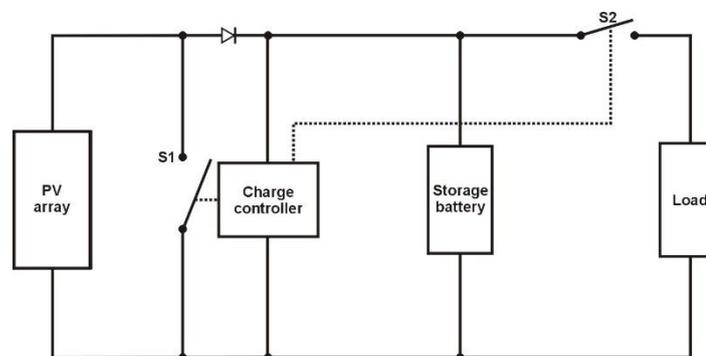


Ilustración 16: Cargador de baterías de tipo derivativo.

Fuente: http://re.emsd.gov.hk/english/solar/solar_ph/solar_ph_to.html

Los de tipo serie son parecidos a los de tipo derivativo pero, en lugar de cortocircuitar con el sistema, abren el circuito hacia las baterías cortando así el paso de la corriente a las mismas. Para la desconexión de las baterías se utilizan relés o SSRs que, cuando la batería llega al nivel de tensión que indica que está cargado al máximo, se desconectan y cuando la misma se descarga hasta determinado nivel se vuelve a conectar.

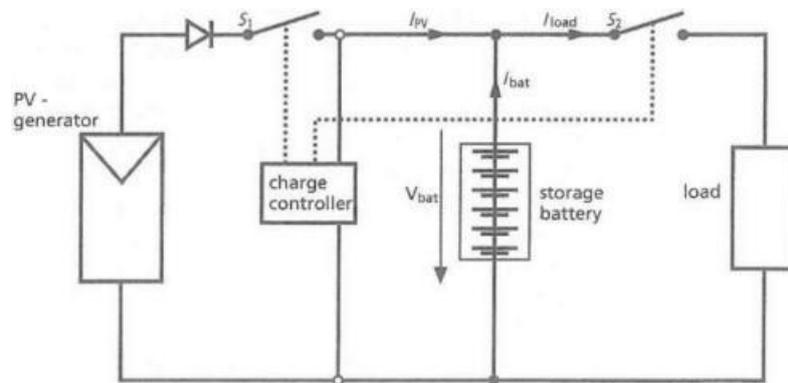


Ilustración 17: Cargador de baterías de tipo serie.

Fuente: <http://www.pvpowerway.com/en/knowledge/pv-systems.html>

Los de tipo PWM o de modulación por ancho de pulsos son más complejos y funcionan simulando una corriente de carga variable. Funcionan como un cargador en serie pero conmutando a frecuencias más altas con señales de periodos variables.

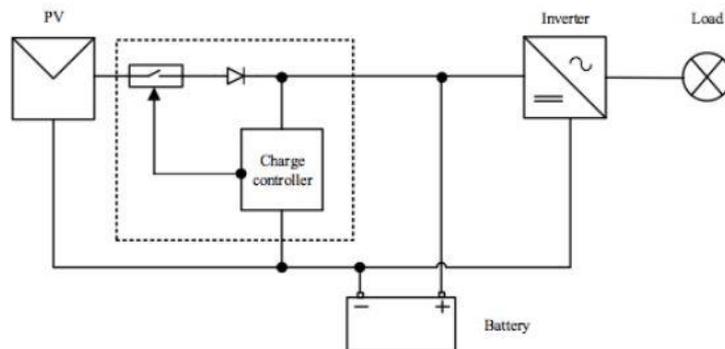


Ilustración 18: Cargador de baterías de tipo PWM.

Fuente: V.Salas, *Power converters implemented in the photovoltaic hybrid solutions*

Por último los cargadores de tipo MPPT son convertidores DC-DC que ajustan la salida de los paneles para conseguir la mayor eficiencia posible obligando a los paneles a trabajar en su punto óptimo de forma continua.

En su versión gratuita, el programa utilizado en este proyecto para las simulaciones, sólo permite el uso de cargadores de baterías de tipo PWM, derivativos y de tipo serie, por lo que se utilizó uno de tipo derivativo, que era el que más se ajustaba al tamaño y necesidades del sistema. El programa tampoco permite configurar unos límites de carga ni la estrategia específica

del cargador de baterías sin la versión de pago del mismo, por lo que estos parámetros están asignados por defecto.

4-Dimensionamiento y análisis de las simulaciones

Para realizar las simulaciones y permitir la comparación entre ellas, se ha forzado en el programa la elección de los mismos componentes para todas las simulaciones para poder comparar más fácilmente entre ellas. Los componentes elegidos son:

- Paneles fotovoltaicos: aSi12-Schott: ASI100
- Baterías: Sonnenschein12V:41A
- Generador de AC: Generador de gasolina de 1 kVA
- Inversor: STECA: SOLARIX 1200X2
- Cargador de baterías: STECA: P TAROM 4055

Como se puede ver en la ilustración 1, los datos de irradiación utilizados son los calculados por el programa para la latitud $40,32^\circ$ y longitud $-3,71^\circ$, que son las coordenadas de la casa usada de ejemplo para el proyecto.

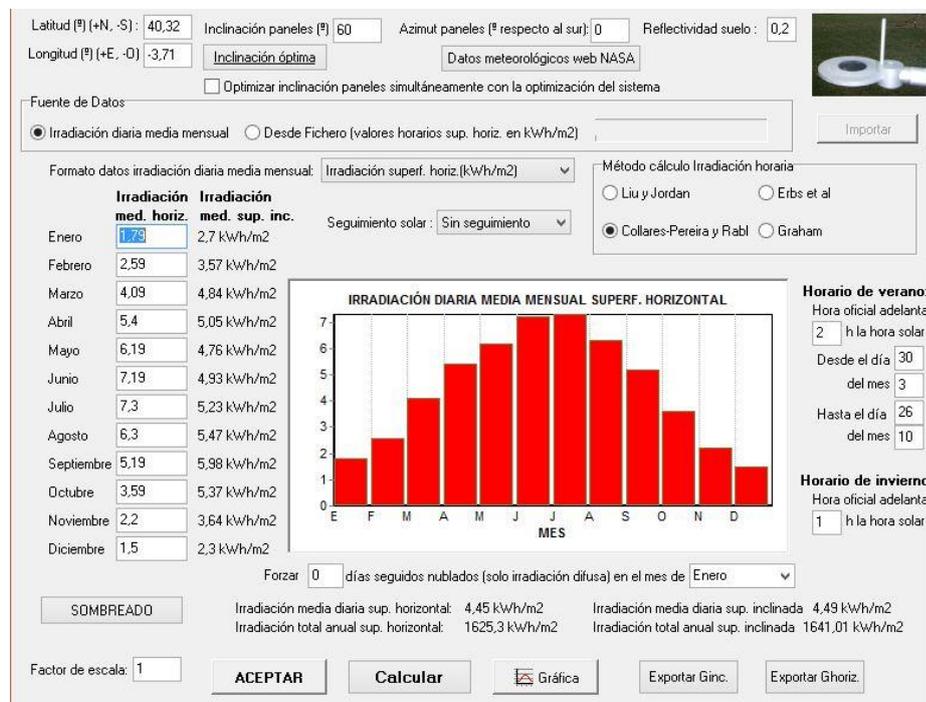


Ilustración 1: Datos de irradiación de la zona elegida.

Fuente iHoga

Después de calcular el perfil de consumo anual el resultado es el que se puede ver en la ilustración 2.

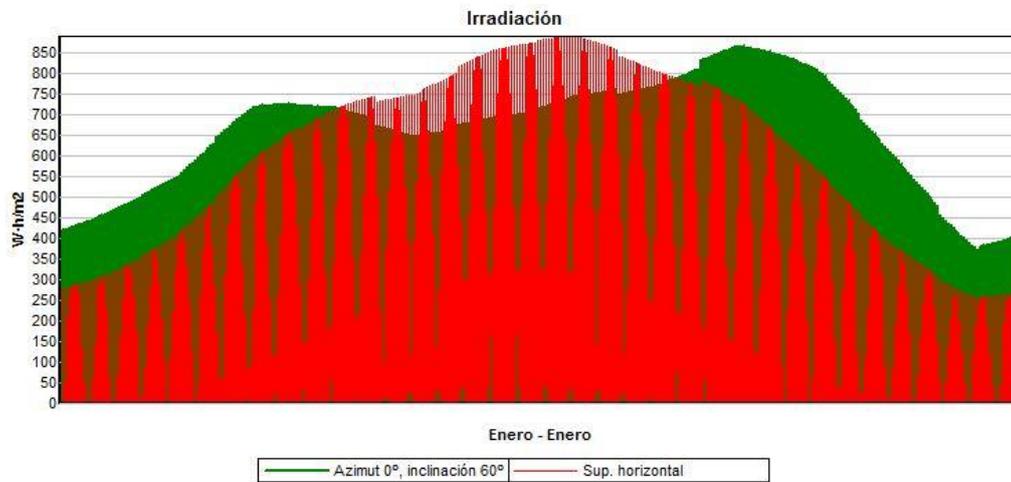


Ilustración 2: Irradiación anual 1.

Fuente: iHoga

El perfil de consumo usado es el de la casa de modelo que ha sido tomado experimentalmente del consumo real de la casa, ya que la versión de prueba del programa no permite consumos mayores a 10 kWh/día, y el perfil de consumo real no era posible simularlo sin la versión completa del programa, se escalaron los valores para que encajaran dentro de dicho límite.

Las tablas de consumo detalladas mes a mes se pueden ver en los anexos.

Como el programa permite distintos perfiles de consumo en cada mes para adecuarse a los cambios en el clima el perfil diario de consumo va cambiando a lo largo del año. La mayor diferencia en el cambio del perfil se da sobre todo en los meses de verano (junio, julio y agosto) donde se pone el aire acondicionado y aumenta mucho el consumo ya que es uno de los aparatos que más gasta de una casa. Esta diferencia se puede ver en la comparación de las siguientes ilustraciones 3 y 4 donde se muestra un perfil de enero comparándolo con el perfil del mes de agosto.

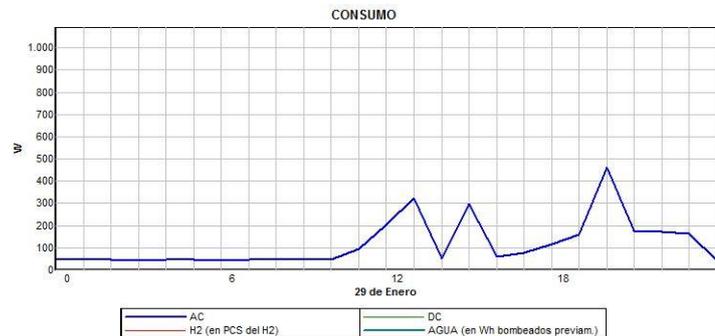


Ilustración 3: Consumo enero 1.

Fuente: iHoga

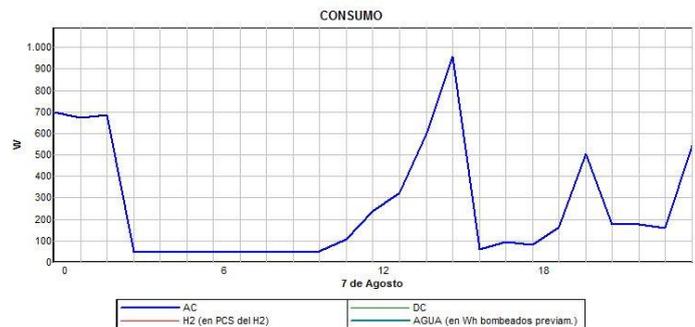


Ilustración 4: Consumo Agosto 1.

Fuente: iHoga

Para el dimensionamiento del sistema se ha tenido en cuenta tanto una configuración AC-coupling como una en DC-coupling para tener en cuenta todas las posibilidades. Según los resultados de las simulaciones preliminares los costes salen ligeramente más bajos con la configuración en DC-coupling, aunque cuanto mayor es la cantidad de fotovoltaica instalada, menor se hace la diferencia por lo que seguramente con un mayor consumo, la configuración en AC-coupling sea más rentable. Al salir mejor los resultados en AC-coupling, se han realizado la mayoría de simulaciones con esta configuración, y se han realizado solo unas pocas con la otra para la comparación de las mismas.

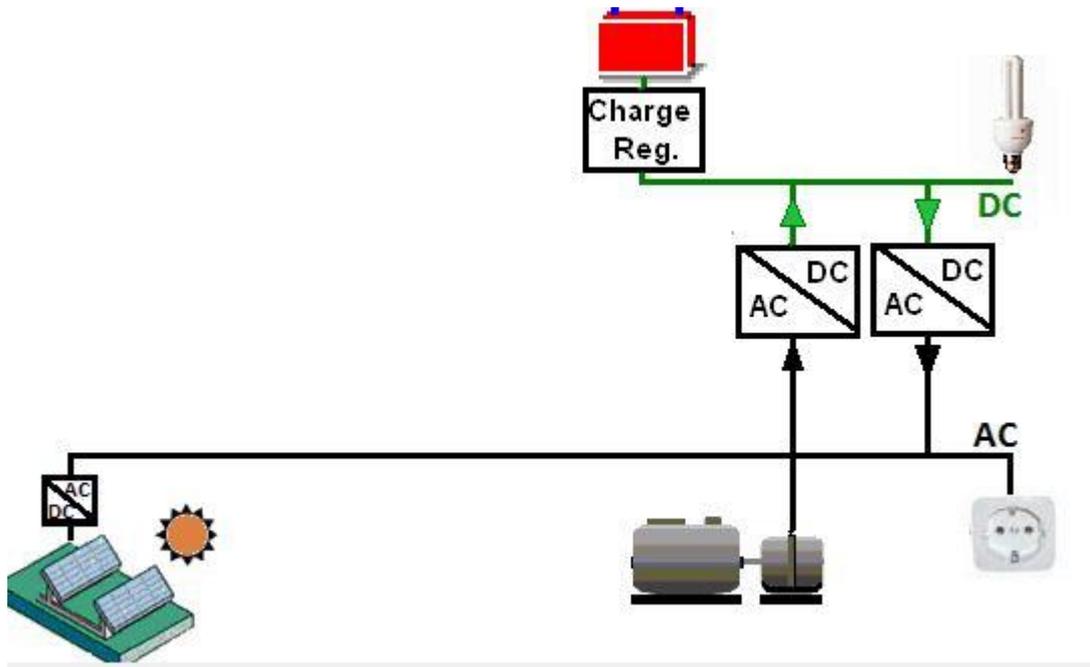


Ilustración 5: Configuración AC-coupling.

Fuente: iHoga

Para el primer grupo de simulaciones se realizaron 3 simulaciones en AC-coupling y otras 3 en DC-coupling cambiando solo la cantidad de fotovoltaica instalada para comparar cual salía más económico en nuestro caso.

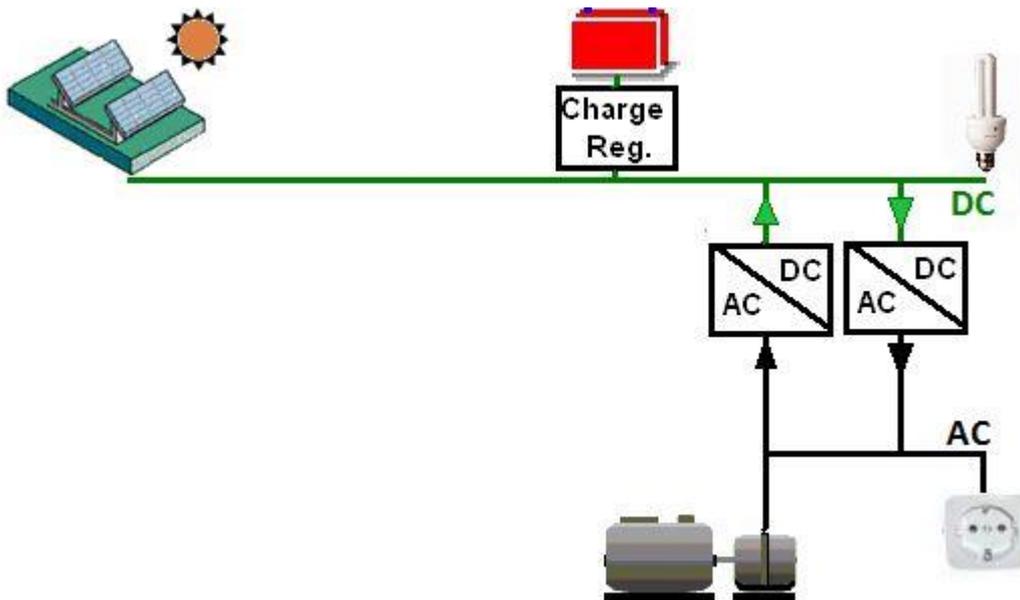


Ilustración 5: Configuración DC-coupling.

Fuente: iHoga

Primero se simuló el caso óptimo según el programa para las 2 configuraciones. En ambos casos sale que hay que instalar la misma cantidad de fotovoltaica para el mejor de los casos. Después de las primeras simulaciones se realizaron 2 simulaciones más de cada una de las configuraciones reduciendo la cantidad de fotovoltaica instalada.

| Casos | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Configuración | VAN (€) |
|-------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------|
| 1 | 2,4 | 6,5 | 8 | DC-coupling | 20323 |
| 2 | 2,4 | 6,5 | 20 | AC-coupling | 20897 |
| 3 | 2 | 6,5 | 37 | DC-coupling | 20783 |
| 4 | 2 | 6,5 | 77 | AC-coupling | 22416 |
| 5 | 1,6 | 4,8 | 159 | DC-coupling | 24741 |
| 6 | 1,6 | 4,8 | 222 | AC-coupling | 33049 |

Tabla 1: Comparación AC-coupling – DC-coupling

Como se puede observar en el resumen de las simulaciones realizadas en la tabla 1 para los casos que se han simulado sobre el modelo seleccionado, cuanto menor es la cantidad de fotovoltaica instalada, mayor es la diferencia en precio que hay entre la configuración AC-coupling y la DC-coupling por lo que se puede suponer que para un sistema con mayor consumo y con una cantidad mayor de fotovoltaica instalada se cambiarían las tornas y pasaría a ser más rentable la configuración AC-coupling. Esto es posible que sea debido a que la conversión a corriente alterna de los paneles no sea perfecta y hace perder mucha energía que tiene que suplirse con el generador de gasolina, ya que, como se ve en las simulaciones, el gasto de combustible es significativamente mayor en los casos con la configuración AC-coupling.

Una vez determinado que la mejor configuración es en DC-coupling se realizó el grueso de las simulaciones para descubrir cuál es la mejor configuración y comparar los resultados dependiendo de cuanta fotovoltaica se instala en el sistema.

Para las simulaciones principales se decidió empezar sin paneles fotovoltaicos, es decir, solamente utilizando el generador fotovoltaico y las baterías para aportar la potencia necesaria al sistema.

Como es obvio, para este caso el consumo de combustible es muy alto y el coste del sistema a largo plazo se dispara como se puede ver en los resultados de gasto de combustible y en la tabla resumen de la simulación mostradas abajo.

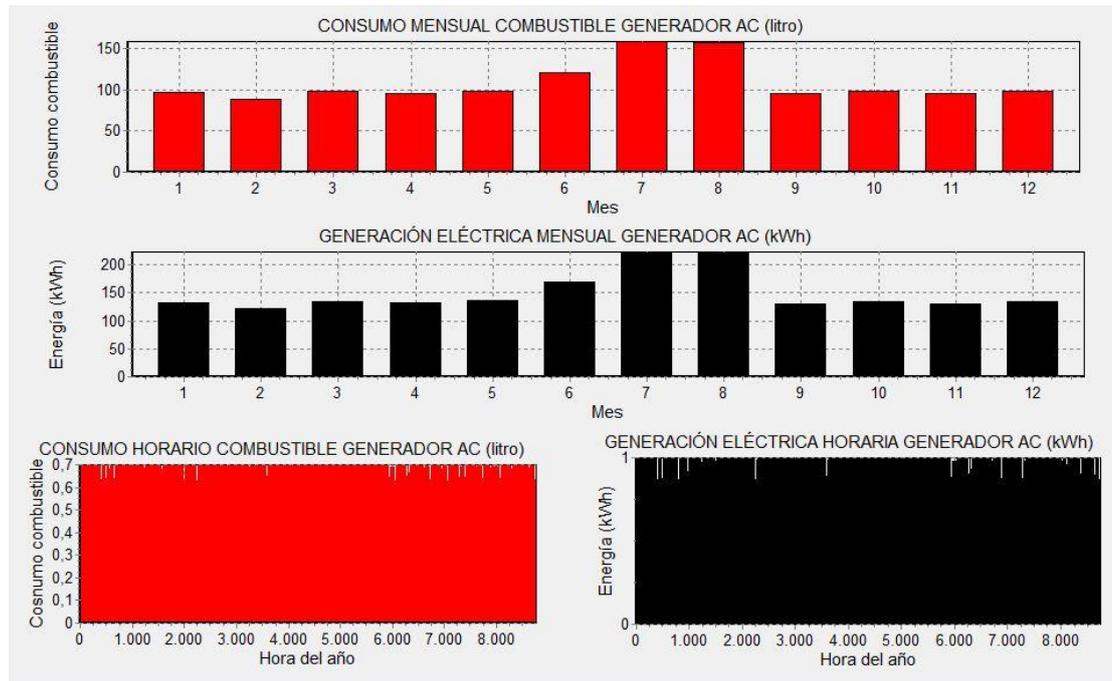


Ilustración 6: Consumo de combustible y energía generada por el generador AC sin paneles.

Fuente: iHoga

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | VAN (€) | Configuración |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------------|
| Sin fotovoltaica | 0 | 6,5 | 1764 | 86835 | DC-coupling |

Tabla 2: Resumen de resultados sin paneles

Esta configuración funciona con el generador cargando las baterías a tope mientras funciona a máxima potencia y después usando casi exclusivamente las baterías para aportar potencia. Este método puede parecer poco eficiente ya que las baterías al ser cargadas y descargadas pierden parte de la energía que reciben, pero la eficiencia de un generador como el que usamos para este proyecto baja mucho si no se usa a su potencia nominal, por lo que sale más rentable usarlo siempre a su potencia nominal, la energía que sobre se le da a las baterías y no volver a encenderlo hasta que las baterías estén bajas, cuando se vuelve a empezar el ciclo. Este funcionamiento se puede ver bien en las gráficas de simulaciones diarias que

proporciona el programa donde la energía generada por el generador AC es la línea negra y la energía de las baterías es la línea marrón en la ilustración 7.

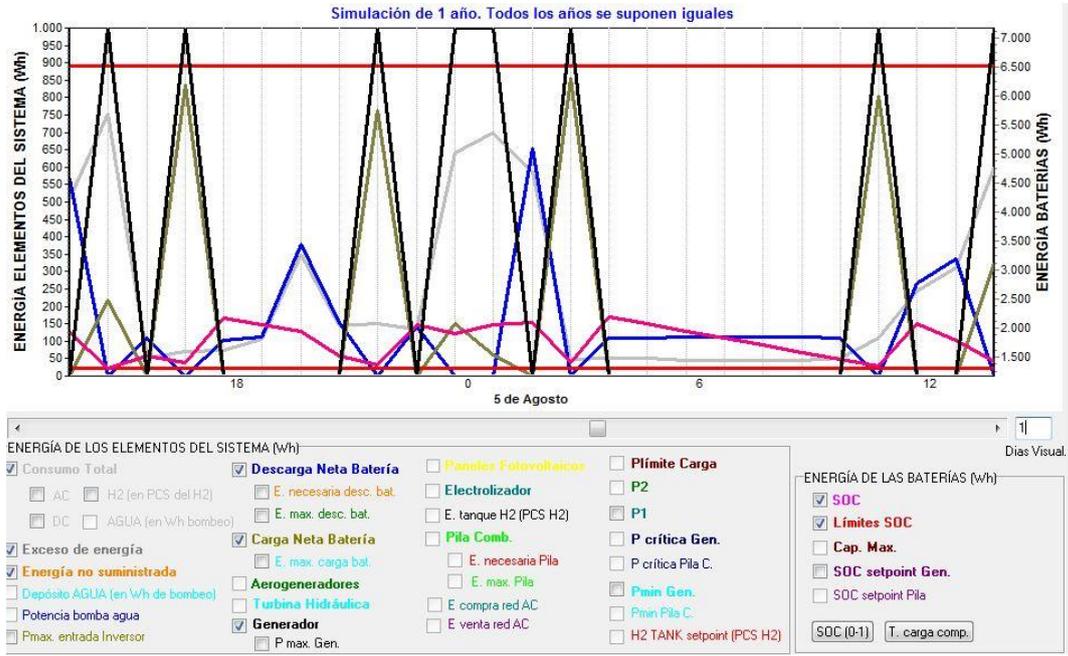


Ilustración 7: Simulación sin paneles de mes de mayor consumo.

Fuente: iHoga

A partir de ahí se empezaron a realizar simulaciones aumentando cada vez más la cantidad de fotovoltaica instalada. Como con los paneles elegidos son de 12V, y la parte de continua de nuestro sistema funciona a 48V, se necesitan 4 paneles en serie en cada rama para conseguir esa tensión y como los paneles son de 100Wp los saltos de potencia instalada en las simulaciones son de 400Wp. Al ser un sistema pequeño, el punto óptimo de fotovoltaica instalada está en 2,4kW de potencia instalada. Por estas razones si se realizaran simulaciones con una sola configuración de componentes saldrían muy pocas como para comparar por lo que se realizaron las simulaciones con varias configuraciones de baterías en cada configuración de paneles instalados. En total se han realizado 13 simulaciones con las distintas configuraciones, y una simulación en la que se elimina el generador AC para comprobar la diferencia con los mejores casos.

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Vida media de baterías (años) | VAN (€) | Configuración |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|---------------|
| 1 rama paralelo | 0,4 | 4,8 | 1261 | 4,59 | 66851 | DC-coupling |
| 1 rama paralelo | 0,4 | 6,5 | 1260 | 6,76 | 66752 | DC-coupling |

Tabla 3: Resumen de simulaciones con una sola rama paralelo

Las primeras simulaciones realizadas con este método son las del sistema con una sola rama en paralelo, es decir, con 400Wp de fotovoltaica instalada.

En el resumen se puede ver que la diferencia entre el gasto de combustible las dos configuraciones de baterías no es muy significativa ya que solo varía en 1€/año el coste de combustible, pero, en cambio sí lo es la vida media de las baterías, ya que al poner más baterías como en el segundo caso, el número de ciclos de carga y descarga necesario es menor, por lo que las baterías duran más y, aunque sean más cara de remplazar al ser mayor cantidad el precio final es más bajo.

Como se puede ver, en la ilustración 8, el consumo de combustible con respecto al caso anterior sin fotovoltaica instalada disminuye visiblemente en este caso pero como no cambia en nada entre los dos casos con una sola rama paralelo, solo se muestra uno de ellos.

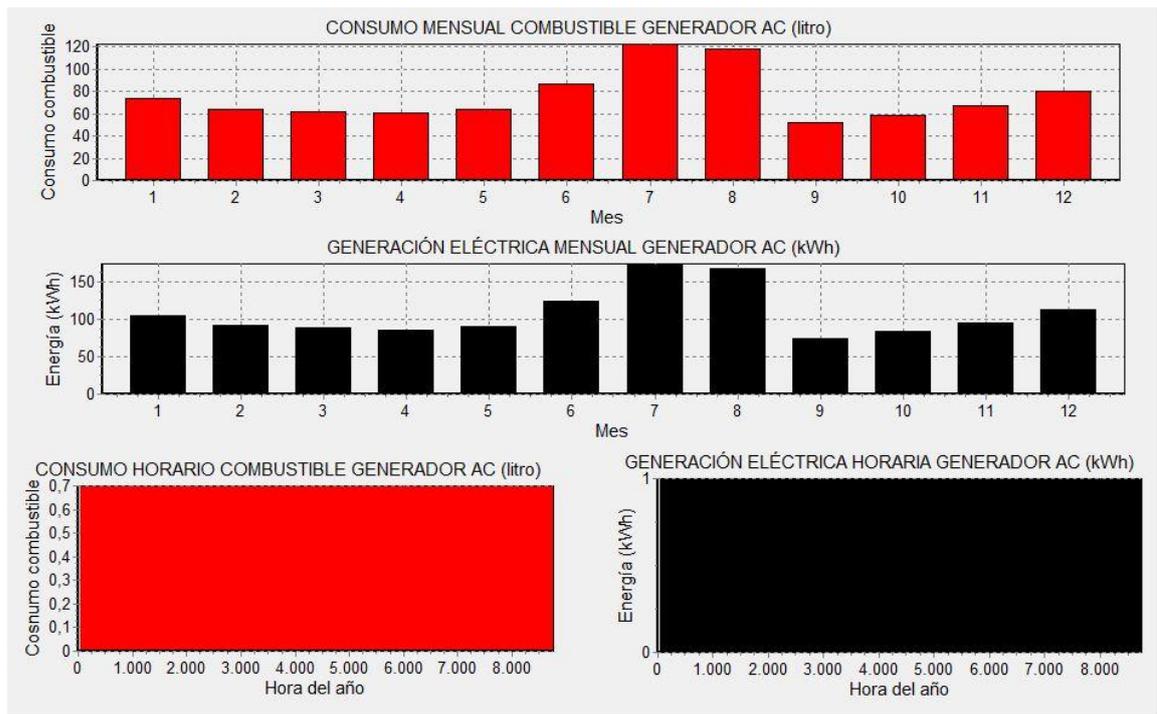


Ilustración 8: Consumo de combustible y energía generada por el generador AC con 400Wp instalados.

Fuente: iHoga

En ambos casos, como se puede ver en las ilustraciones 9 y 10, se utiliza la fotovoltaica cuando está disponible o para el consumo directo o para cargar las baterías y cuando esta no es suficiente se enciende el generador con el mismo comportamiento que se usaba en el caso en el que o había paneles fotovoltaicos para el consumo o para cargar lo que quede de las baterías. La única diferencia que se puede apreciar entre los 2 casos que se comparan en las gráficas es que en el caso con menos baterías se carga mayor porcentaje de la batería y se descarga hasta el mismo porcentaje que en el otro caso lo que provoca esa disminución de la vida de las baterías observada en el resumen anterior.

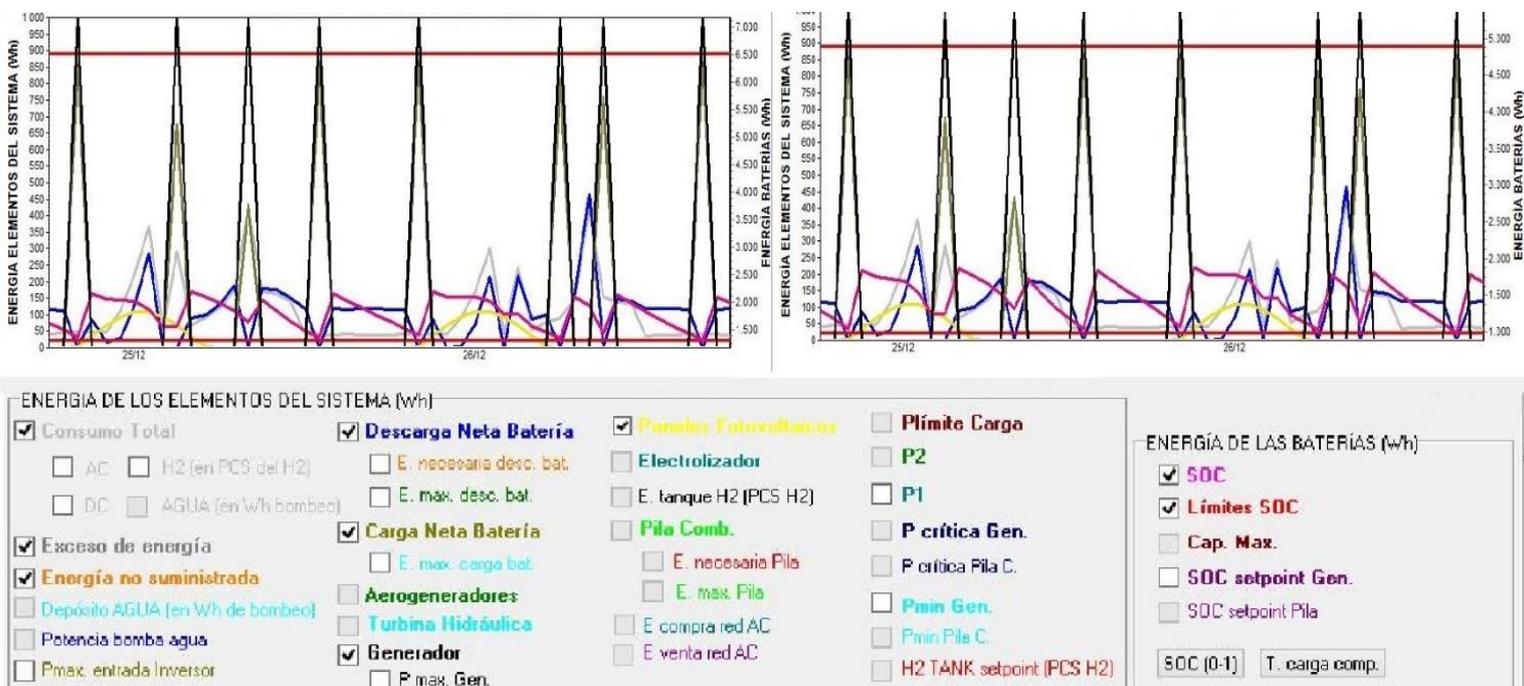


Ilustración 9: Comparación de casos con 1 rama paralelo en diciembre.

Fuente: iHoga

En las ilustraciones 9 y 10 están las gráficas que aporta el programa se simulación de cada día de 2 días de diciembre y agosto respectivamente de los dos casos que nos ocupan en este momento. El mes de diciembre en el mes que, según las gráficas de irradiación, con nuestra configuración de paneles menor es la irradiación sobre nuestros paneles. Además también es diciembre uno de los meses que menos consumo eléctrico tiene según nuestro perfil de consumo. En cambio el mes de agosto, a pesar de ser uno de los meses con mayor irradiación (Al tener una inclinación de paneles del

60° de inclinación el mes de mayor irradiación es septiembre) también es el mes que mayor consumo eléctrico demanda el sistema. Por las razones anteriormente mencionadas se han elegido estos 2 meses como los más representativos del estudio y como se puede ver en este caso no cambia demasiado las gráficas, ya que a pesar de que la irradiación (línea amarilla) es mucho mayor en el mes de agosto, también lo es el consumo demandado por el sistema (línea gris).

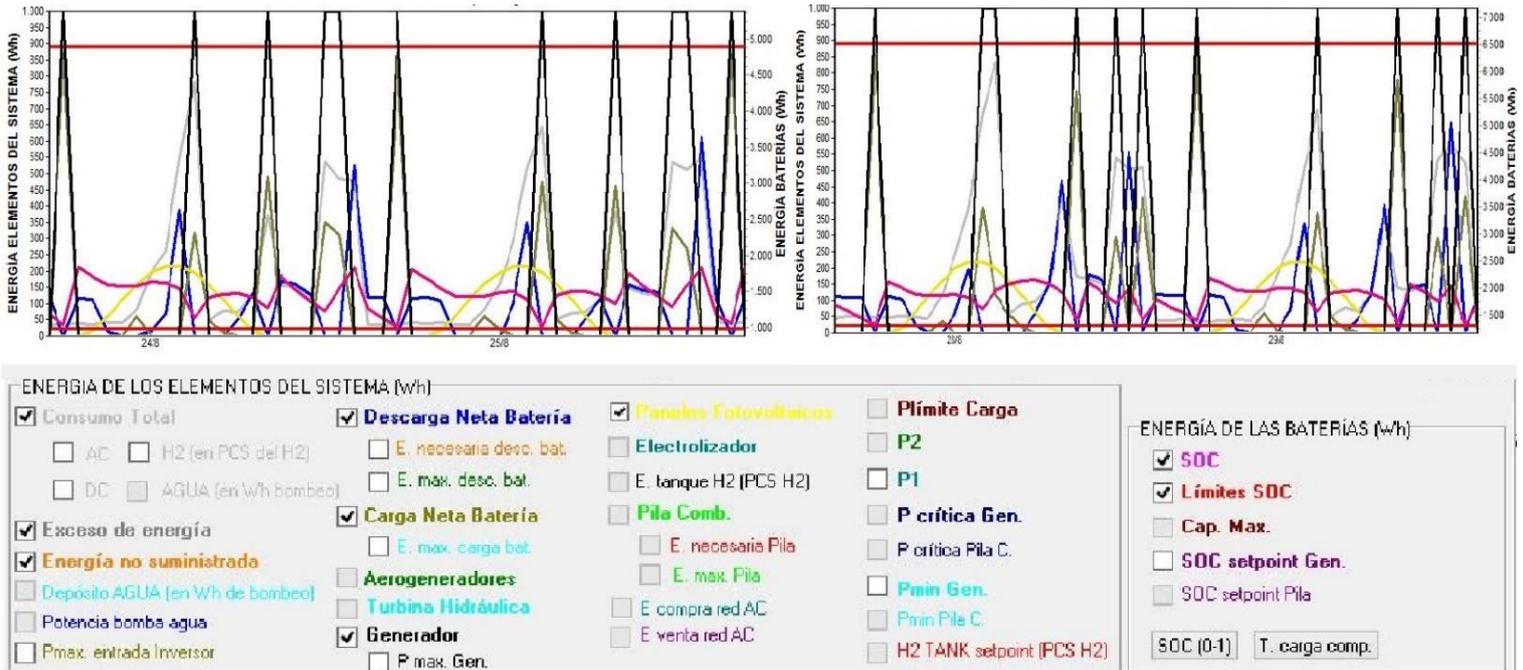


Ilustración 10: Comparación de casos con 1 rama paralelo en agosto.

Fuente: iHoga

El siguiente grupo de dos simulaciones consiste en la instalación de otra rama de paneles fotovoltaicos en paralelo más llegando a 0,8kW de fotovoltaica instalada en el sistema. Como en los anteriores casos, se han realizado 2 simulaciones con diferentes configuraciones de baterías, para la comparación entre ellos.

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Vida media de baterías (años) | VAN (€) | Configuración |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|---------------|
| 2 ramas paralelo | 0,8 | 4,8 | 801 | 4,79 | 48905 | DC-coupling |
| 2 ramas paralelo | 0,8 | 6,5 | 799 | 6,21 | 49335 | DC-coupling |

Tabla 4: Resumen de las simulaciones con 2 ramas en paralelo

Al igual que en el caso anterior la diferencia entre las dos configuraciones no es muy grande aunque a diferencia de las anteriores simulaciones en este caso la configuración que mejor resultados da es la que tiene menos baterías. En este caso es mejor una configuración con menos baterías probablemente porque el consumo de combustible anual es muy parecido en los do, como se observa en la tabla 4, y además la diferencia en la vida media de las baterías no es tan grande como en el caso anterior, por lo que sale más caro comprar muchas baterías cada un poco más de tiempo que la diferencia entre los gastos en combustible y comprar menos baterías más habitualmente.

En cuanto al combustible consumido, en la ilustración siguiente y en la tabla anterior se puede comprobar que ha disminuido considerablemente, provocando a su vez la enorme bajada en el precio del sistema que se observa en la tabla 4.

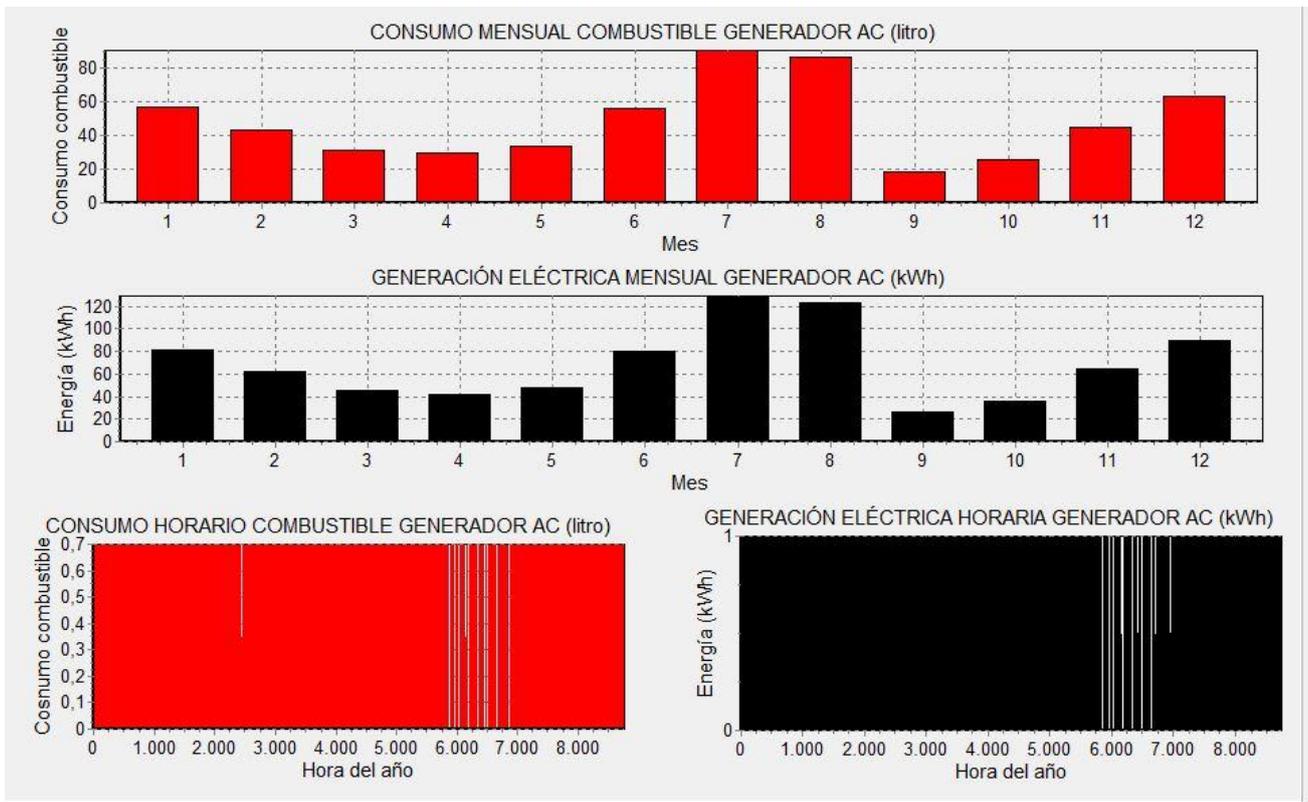


Ilustración 11: Consumo de combustible y energía generada por el generador AC con 800Wp instalados.

Fuente: iHoga

En la imagen de arriba también se aprecia que los meses donde más se ha reducido el consumo de combustible son los que no tienen mucho consumo pero aún tienen una irradiación importante para el ángulo de los

paneles elegido. Estos meses son sobre todo septiembre y los meses de primavera. En cambio en los meses con poca irradiación, como puede ser diciembre no baja demasiado ni el consumo ni la generación de energía del generador.

Como se observa en las ilustraciones 12 y 13, tanto en el caso de enero como en el de diciembre se reduce la cantidad de veces al día que se enciende el generador de gasolina y el tiempo que está activado disminuyen considerablemente.

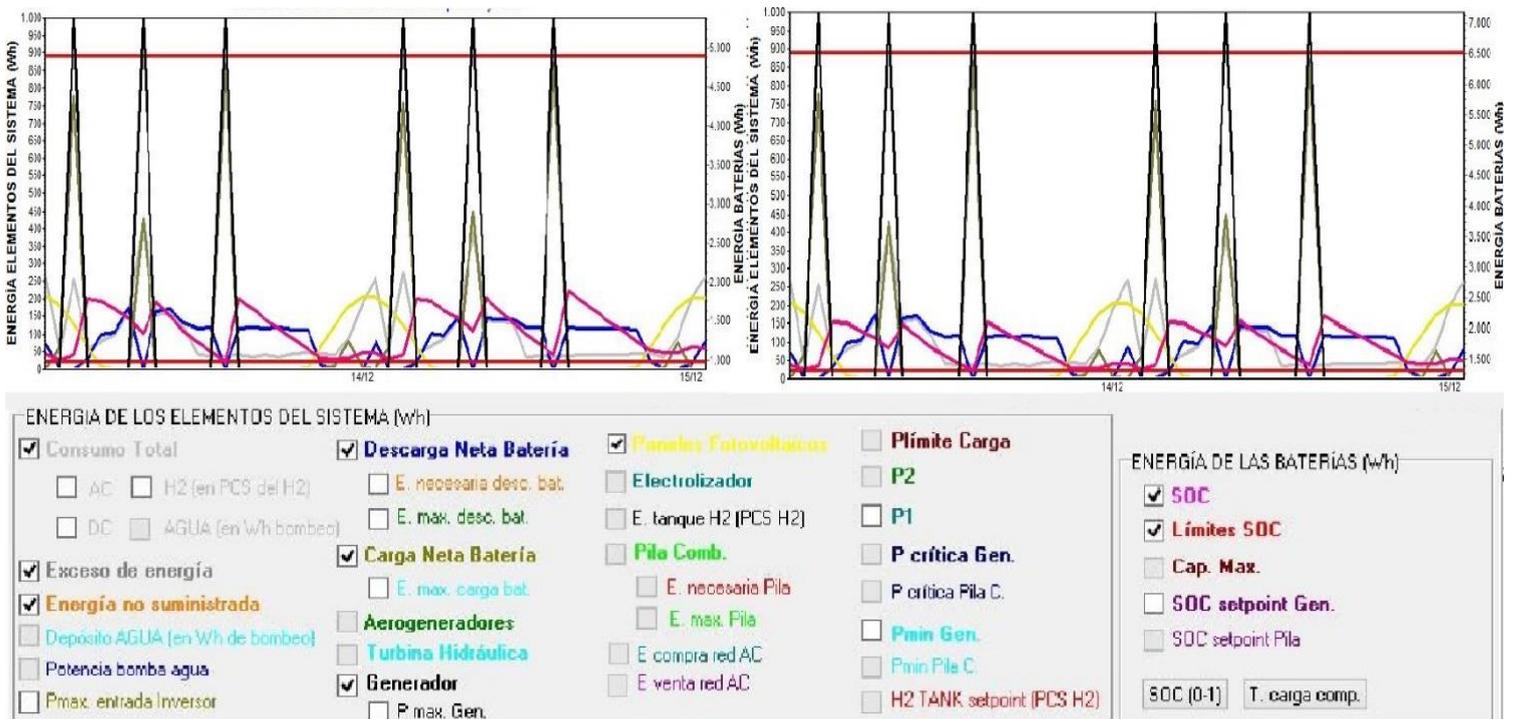


Ilustración 12: Comparación de casos con 2 ramas paralelo en diciembre.

Fuente: iHoga

En las simulaciones se ve que, tanto en agosto como en diciembre, la irradiación (línea amarilla) aumenta, por lo que la energía fotovoltaica generada también lo hace, provocando que el generador de gasolina se encienda menos veces y menos tiempo. Tal como se observó en párrafos anteriores, la irradiación aumenta mucho más en el mes de agosto que en el mes de diciembre debido a la inclinación de los paneles con respecto al sol, lo que provoca que la disminución de consumo de combustible por parte del generador AC sea mucho más pronunciada en el caso del mes de agosto.

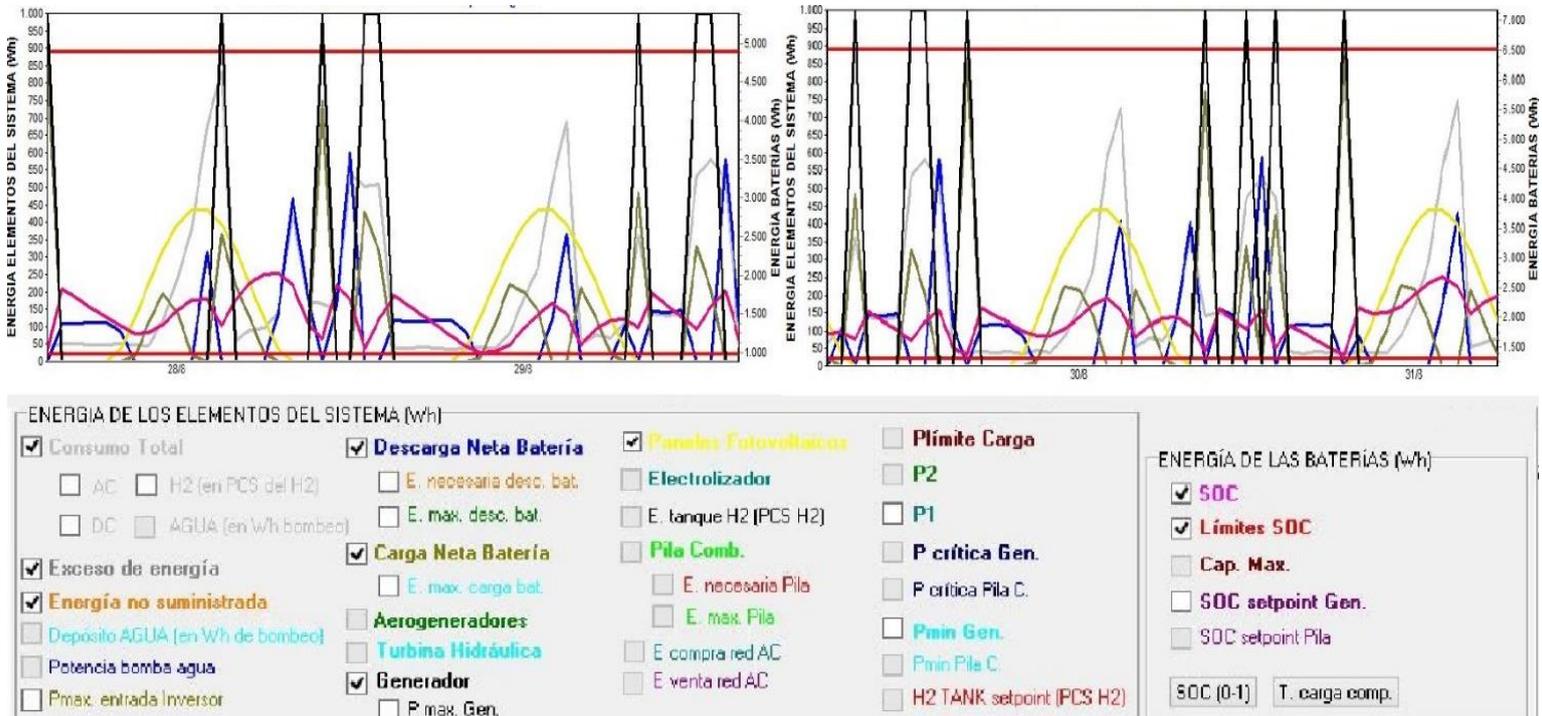


Ilustración 13: Comparación de casos con 2 ramas paralelo en agosto.

Fuente: iHoga

Esta tendencia de bajada de consumo de combustible y de bajada de precio se mantiene según vamos subiendo la cantidad de fotovoltaica instalada en el sistema. También se mantiene la similitud entre las configuraciones de baterías si se usan las configuraciones más óptimas, que son de 4,8kWh o de 6,5kWh instalados en todos los casos.

Debido a que todos los casos son muy parecidos no se analizarán uno por uno, ya que las conclusiones serían prácticamente las mismas en todos ellos.

En la tabla inferior se puede comprobar la tendencia anteriormente mencionada junto con el resumen de todas las simulaciones realizadas para estos casos.

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Vida media de baterías (años) | VAN (€) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|
| 1 rama paralelo | 0,4 | 4,8 | 1261 | 4,59 | 66851 |
| 1 rama paralelo | 0,4 | 6,5 | 1260 | 6,76 | 66752 |
| 2 ramas paralelo | 0,8 | 4,8 | 801 | 4,79 | 48905 |
| 2 ramas paralelo | 0,8 | 6,5 | 799 | 6,21 | 49335 |
| 3 ramas paralelo | 1,2 | 4,8 | 388 | 4,79 | 33049 |
| 3 ramas paralelo | 1,2 | 6,5 | 384 | 6,3 | 33456 |
| 4 ramas paralelo | 1,6 | 4,8 | 159 | 4,56 | 24741 |
| 4 ramas paralelo | 1,6 | 6,5 | 153 | 6,05 | 24862 |
| 5 ramas paralelo | 2 | 4,8 | 43 | 4,62 | 20925 |
| 5 ramas paralelo | 2 | 6,5 | 37 | 6,19 | 20783 |
| 6 ramas paralelo | 2,4 | 4,8 | 15 | 4,67 | 20156 |
| 6 ramas paralelo | 2,4 | 6,5 | 8 | 6,24 | 20323 |

Tabla 5: Resumen de los resultados de las simulaciones con todas las configuraciones de fotovoltaica y baterías óptimas.

El mejor resultado según las simulaciones es el de 2,4kW de fotovoltaica instalada y 4,8kWh de baterías. Este resultado es bueno porque, además de que la vida útil de las baterías es relativamente buena, (con una vida útil de 4,67 años habría que cambiarlas unas 5 veces en la vida útil del sistema total que son 25 años) el consumo de combustible es casi inexistente, debido a que el generador solo es necesario encenderlo en meses con un consumo muy grande o con una irradiación muy pequeña como pueden ser julio, agosto y diciembre.

Esto se puede ver en la siguiente ilustración, que muestra el consumo de combustible y la energía generada por el generador de gasolina.

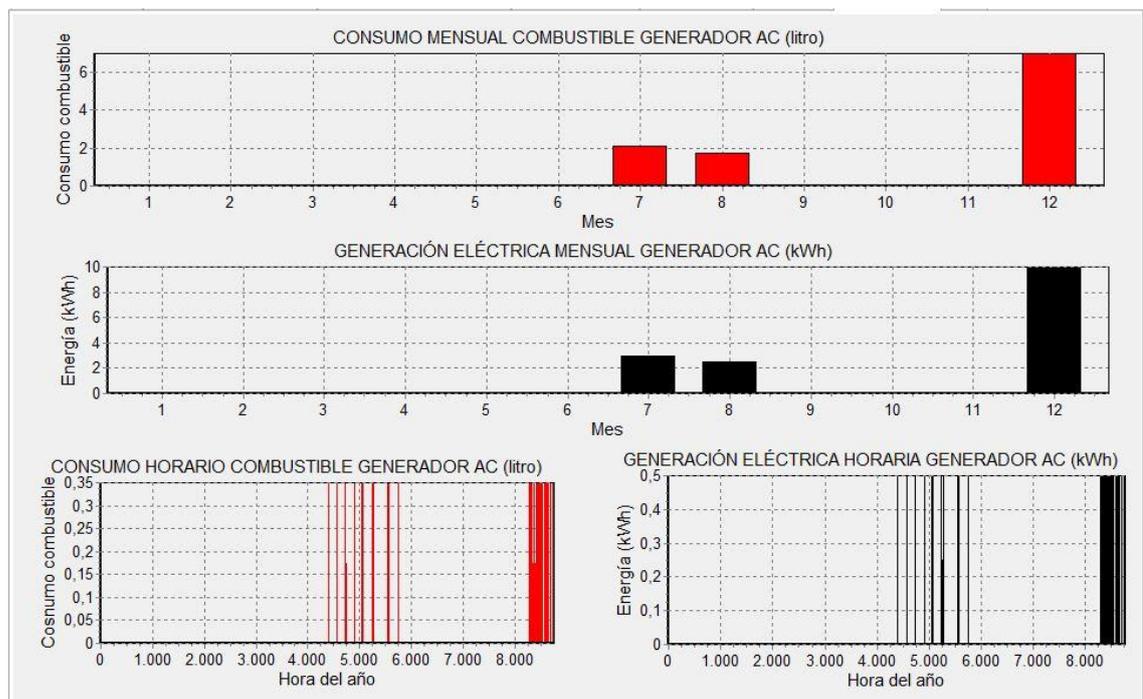


Ilustración 194: Consumo de combustible y energía generada por el generador AC para la configuración óptima.

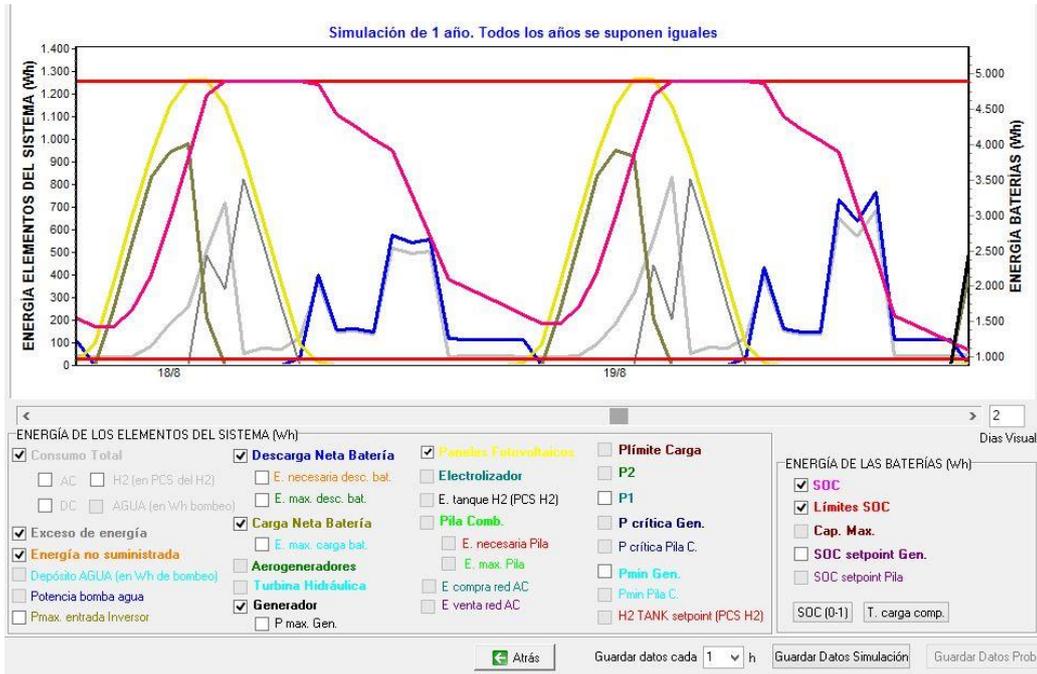


Ilustración 15: Gráfica de energías de agosto para el caso óptimo.

Fuente: iHoga

En las gráficas de consumo de energías diarias proporcionadas por el programa también se aprecia que el generador solo se usa en algunos meses y solo una vez cada varios días para cargar un poco las baterías cuando es necesario. Estas gráficas se ven en las ilustraciones 15 y 16.

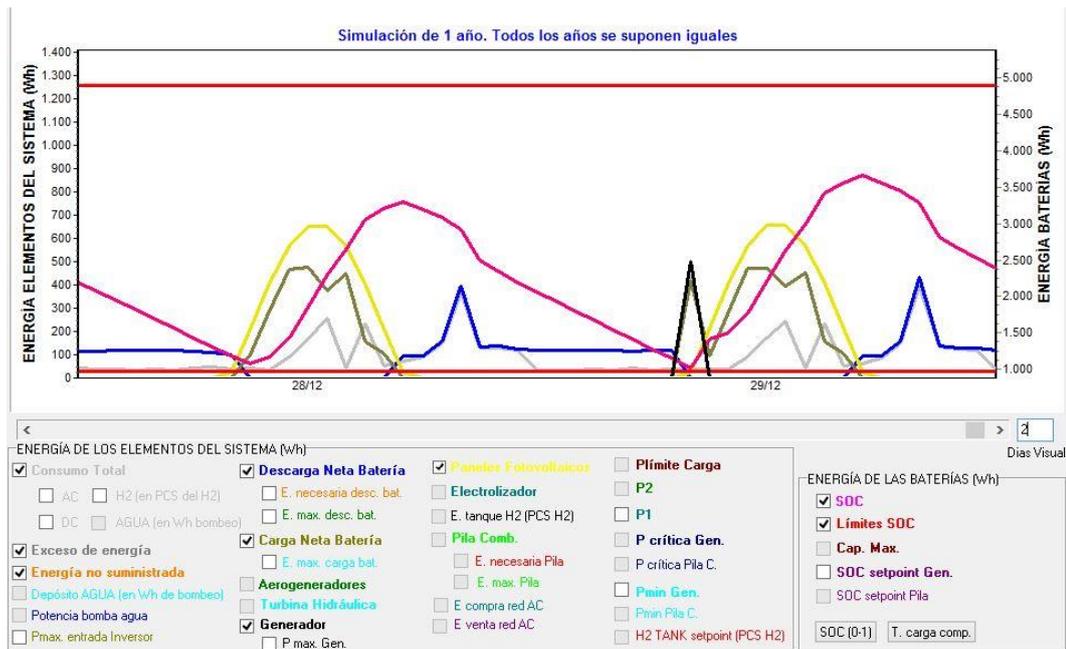


Ilustración 16: Gráfica de energías de diciembre para el caso óptimo.

Fuente: iHoga

Para comprobar que las configuraciones elegidas de baterías para este caso son las correctas se realizó una simulación más con el caso de 2kW de fotovoltaica instalada al que se le quitaron baterías para comprobar si con eso se reducía el coste total del sistema.

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Vida media de baterías (años) | VAN (€) | Configuración |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|---------------|
| 2 ramas de baterías | 2 | 3,2 | 154 | 3,28 | 24535 | DC-coupling |
| 3 ramas de baterías | 2 | 4,8 | 43 | 4,62 | 20925 | DC-coupling |
| 4 ramas de baterías | 2 | 6,5 | 37 | 6,19 | 20783 | DC-coupling |

Tabla 6: Comparación entre distintas configuraciones de baterías

Tal como se demuestra en la tabla resumen superior, al reducir mucho la cantidad de baterías, su vida útil disminuye drásticamente y el consumo de combustible se dispara, lo que hace aumentar sensiblemente el precio final del sistema. Esto se debe a que las baterías no son suficientes para soportar el consumo de la casa y se descargan más rápido lo que provoca que duren menos y que además haya que encender el generador de gasolina más a menudo, lo que aumenta el consumo de combustible.

Por último, habiendo probado todas las posible configuraciones hasta llegar al caso óptimo de fotovoltaica y baterías instaladas, que corresponde al de 2,4kW de fotovoltaica instalada y a 4,8kWh de baterías, se intentó hacer una simulación eliminando el generador de gasolina para llegar al caso opuesto a la primera simulación, que consistía en un sistema sin fotovoltaica. Para este caso se fijaron los paneles fotovoltaicos a la mayor cantidad usada en anteriores simulaciones, que además resultó ser la mejor, se eliminó el generador AC y se permitió al programa variar la cantidad de baterías para cumplir con los requisitos de la configuración.

El resultado obtenido se puede ver en la tabla siguiente.

| Caso | Fotovoltaica instalada (Kw) | Energía total de las baterías (Kwh) | Consumo medio del generador (€/año) | Vida media de baterías (años) | VAN (€) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Sin generador AC | 2,4 | 14,6 | 0 | 14,22 | 21825 |

Tabla 7: Resumen de simulación sin generador AC

Con esta configuración se ve que el precio aumenta ligeramente con respecto a las óptimas sobre todo por la cantidad de baterías que hay que colocar, ya que es casi el triple que la configuración óptima. Como es obvio el consumo de combustible es nulo debido a que no hay ningún generador AC.

También llama la atención que la vida media de las baterías es del orden del triple que en casos anteriores. Esto es debido al fenómeno que se observa en las ilustraciones 17 y 18.

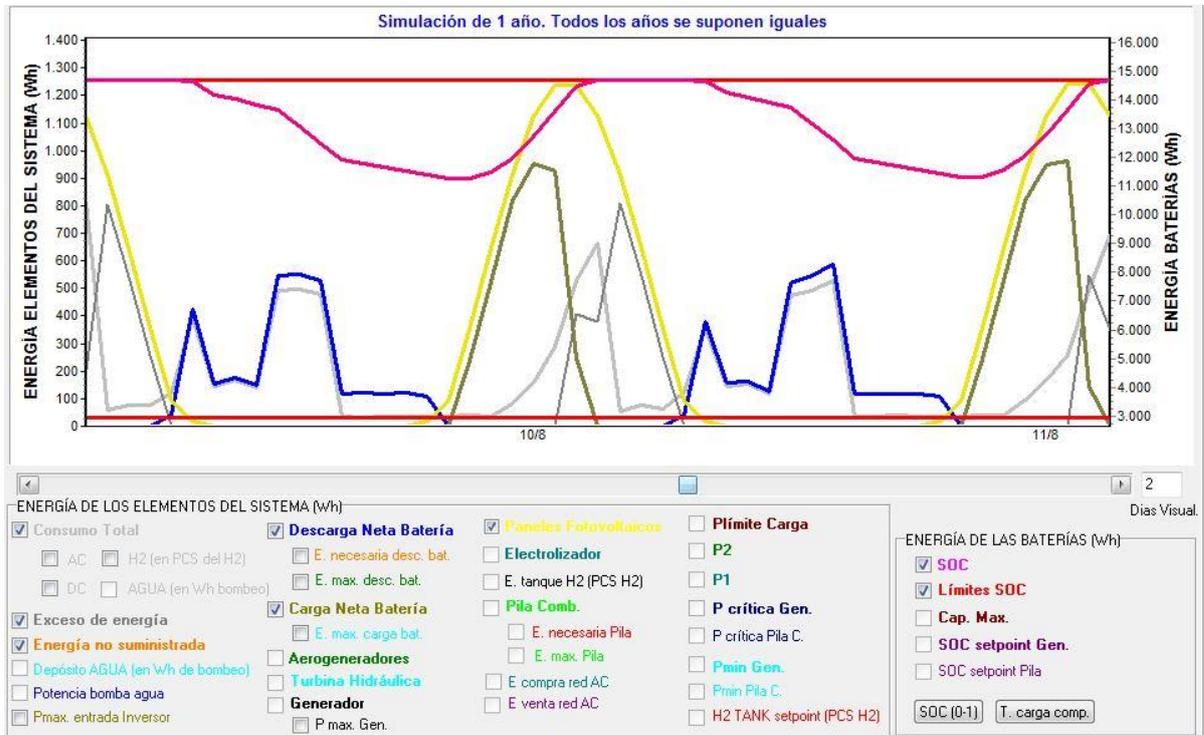


Ilustración 17: Gráfica de energías de agosto sin generador

En la gráfica superior se ve que al tener gran cantidad de baterías, estas no se llegan a descargar nunca por lo que su vida útil aumenta drásticamente. De hecho solo hay tantas baterías porque en meses con menor irradiación y en los meses con un mayor consumo sí que se descarga y se necesita mayor cantidad de energía para pasar el mes completo. Esto se da solo en el mes de diciembre y en el mes de agosto, aunque en mayor medida en el primero, como se ve en la gráfica inferior, donde se muestran 5 de los primeros días de diciembre y se ve como la energía acumulada en las baterías (línea rosa) va disminuyendo día a día.

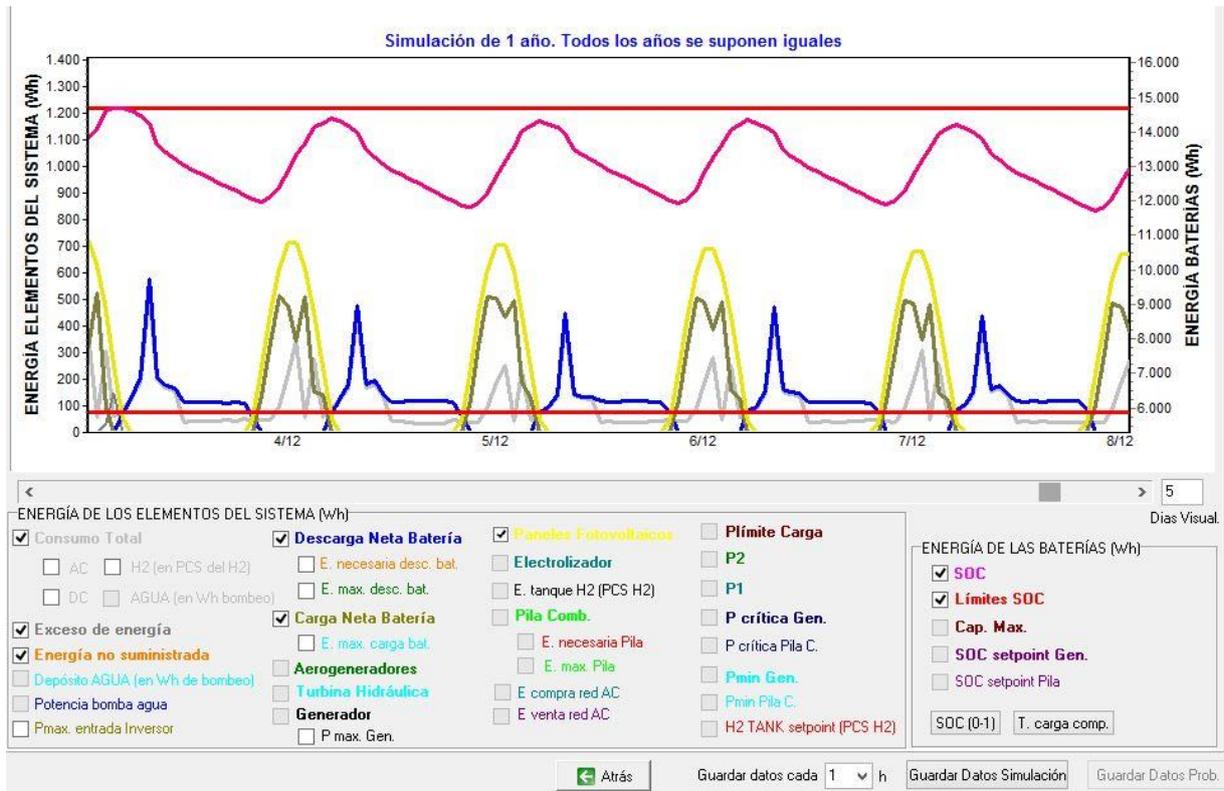


Ilustración 18: Gráfica de energías de 5 días de diciembre sin generador.

Fuente: iHoga

Esta configuración puede en un principio parecer atractiva ya que prescinde del generador de gasolina y con el de ruidos molestos, de compras de combustible y del almacenamiento del mismo por no mucho más dinero que la configuración óptima calculada, pero en las simulaciones se usa un caso ideal, en el que no se cuentan los posibles problemas e imprevistos y en un caso real puede no ser apropiado, si por ejemplo en diciembre hubiera varios días seguidos muy nublados, cosa que es bastante habitual por otra parte, probablemente las baterías acabarían gastándose y dejando a la casa sin suministro eléctrico. Por esto es más conveniente tener un sistema de respaldo como es el generador.

5-Conclusiones

Después de haber realizados las simulaciones con el programa, claramente se aprecia que al convertir un sistema aislado, a un sistema híbrido con fotovoltaica, los costes a largo plazo se reducen considerablemente, lo que lo convierte en una inversión a tener muy en cuenta a pesar de que el precio inicial sea más alto que en el caso de un sistema aislado que tenga únicamente un grupo electrógeno de diésel o gasolina.

También sería posible la opción de prescindir del generador AC y directamente hacer el sistema completamente fotovoltaico, no teniendo que comprar el generador, evitando los ruidos y no teniendo que cargar con los gastos de comprar el combustible y de almacenarlo apropiadamente. Esta opción no dista mucho en precio de la configuración óptima elegida en este proyecto a través de las simulaciones realizadas y tiene muchas ventajas a primera vista, pero aun así en este tipo de instalaciones conviene tener un sistema de respaldo por si se da el caso de que, por causas climáticas o imprevistos cualquier tipo, las baterías no fuesen capaces de soportar el consumo si no llegara durante mucho tiempo el suministro eléctrico de los paneles fotovoltaicos.

Habría sido interesante poder realizar simulaciones en las que se limitara la descarga de las baterías a distintos niveles y se controlara su estado de carga para comprobar cómo afecta a su desgaste y poder hallar el punto óptimo también para este caso, que sería lo más conveniente, pero el programa usado para las simulaciones no permite en su versión gratuita este tipo de control.

En conclusión, la mejor opción para un caso de sistema aislado sería un sistema híbrido con la mayor parte de la energía proviniendo de las células fotovoltaicas, un banco de baterías lo suficientemente grande como para soportar el consumo de las horas sin luz la mayor parte de los meses y un generador de AC de respaldo para evitar posibles imprevistos y, sobre todo, para reducir en gran medida la cantidad de baterías necesarias en el banco y así evitar un sobrecoste.

En un futuro, después de que en España se termine de modificar definitivamente la ley que regula los sistemas fotovoltaicos conectados a red, se podría pensar en hacer este mismo proyecto sustituyendo el grupo electrógeno por una conexión a red, con los cambios de componentes que ello conlleva, para ajustarse más a los casos reales que se pueden dar en este país, ya que la gran mayoría de la gente cuenta con la posibilidad de conexión a red. Este caso no se ha tenido en cuenta ahora debido a que la ley no está del todo bien definida aún y se están produciendo cambios que podrían, en unos años, convertir el sistema en no rentable.



6-Bibliografía

- <http://www.energiarenovable.com/>
- José Manuel Casas Úbeda, Francisca Gea López, Esmeralda Javaloyes Tarí, Alberto Martín Peña, José Ángel Pérez Navarro, Inmaculada Triguero Sánchez, Francisco Vives Boix. Educación medioambiental
- <http://blogs.elpais.com/green-jobs/2013/02/autoconsumo-fotovoltaico-y-empleo.html>
- Bloomberg New Energy Finance
- <http://www.sitiosolar.com/>
- <http://www.sfe-solar.com/inversores-solares-fotovoltaicos/sma/>
- <http://www.energiasinteligentes.com/>
- <http://www.areatecnologia.com/>
- <http://energiasrenovadas.com/>
- V. Salas, **Híbridos Aislados de Grand Potencia**, Solar News, 56, 2014
- V. Salas, **Control de los sistemas híbridos autónomos de gran potencia**, Solar News, 55, 2014
- V. Salas et al., **El inversor híbrido: nuevo concepto para el autoconsumo fotovoltaico**, págs. 30-33, Solar News, 52, 2014
- V. Salas, **Análisis de un sistema de autoconsumo híbrido autónomo fotovoltaico (Fotovoltaica + Diesel + Baterías) de 60 kW**, pag. 10-13, Solar News, 47, 2013
- **Hibridación Fotovoltaica aislada: configuraciones-topologías**, Solar News, 49, págs., 22-27, 2013
- V. Salas y E. Olías, **Inyección cero: controladores- inhibidores de potencia**, Solar News, 46, pag. 24-29, 2013
- IEA PVPS

7- Índice de anexos

- Reportes

- Sin fotovoltaica instalada Reporte 1.pdf
- 1 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 2.pdf
- 1 rama de fotovoltaica y 4 de baterías Reporte 3.pdf
- 2 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 4.pdf
- 2 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 5.pdf
- 3 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 6.pdf
- 3 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 7.pdf
- 4 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 8.pdf
- 4 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 9.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 10.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 11.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 12.pdf
- 6 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 13.pdf
- 6 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Reporte 14.pdf
- Sin generador ac Reporte 15.pdf
- 4 rama de fotovoltaica en ac coupling Reporte ac 1.pdf
- 5 rama de fotovoltaica en ac coupling Reporte ac 2.pdf
- 6 rama de fotovoltaica en ac coupling Reporte ac 3.pdf

- Costes

- Sin fotovoltaica instalada Coste 1.pdf
- 1 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Coste 2.pdf
- 1 rama de fotovoltaica y 4 de baterías Coste 3.pdf
- 2 rama de fotovoltaica y 3 de baterías Coste 4.pdf



- 2 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 5.pdf
- 3 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 6.pdf
- 3 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 7.pdf
- 4 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 8.pdf
- 4 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 9.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 10.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 11.pdf
- 5 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 12.pdf
- 6 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 13.pdf
- 6 rama de fotovoltaica y 3 de bateríasCoste 14.pdf
- Sin generador acCoste 15.pdf
- 4 rama de fotovoltaica en ac coupling..... Coste ac 1.pdf
- 5 rama de fotovoltaica en ac coupling..... Coste ac 2.pdf
- 6 rama de fotovoltaica en ac coupling..... Coste ac 3.pdf
- Consumo
 - Tabla de consumostablas de consumo.xlsx