



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Análisis de la utilización de baterías de litio en sistemas aislados de la red

Autor/es

Adolfo López de Soria García

Director/es

Rodolfo Dufo López

Escuela de Ingeniería y Arquitectura / Universidad de Zaragoza  
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).

D./Dª. ADOLFO LÓPEZ DE SORIA GARCÍA,

con nº de DNI 43190842-Q 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) "ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO EN SISTEMAS AISLADOS DE LA RED".

---

---

---

---

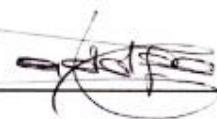
---

---

---

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

Zaragoza, 25 AGOSTO 2017

Fdo: \_\_\_\_\_ 

## RESUMEN

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica tienen como función principal aportar la energía necesaria para cubrir la demanda eléctrica del sistema (vivienda, granja o cualquier sistema aislado de la red), aprovechando la radiación solar. Para poder asegurar el suministro de electricidad en cualquier momento, son necesarios los acumuladores de energía (baterías).

Actualmente las baterías de plomo-ácido son las más utilizadas en estos sistemas, sin embargo la tecnología de las baterías de ion litio es uno de los sectores donde más se está investigando, obteniendo grandes avances. Debido a esto, la finalidad de este trabajo consiste en averiguar si las baterías de ion litio son capaces de competir con las clásicas de plomo-ácido en los sistemas fotovoltaicos aislados.

Se ha realizado una búsqueda de información sobre baterías, tanto de plomo-ácido como de litio, analizando y comparando sus diferencias técnicas y económicas. Por otra parte, se han identificado las baterías más apropiadas para los sistemas aislados fotovoltaicos.

Posteriormente, se han estudiado ocho casos evaluando diferentes baterías, obteniendo mediante el software iHOGA las combinaciones económicamente más favorables y que no sobrepasen las restricciones preestablecidas.

Finalmente, se han realizado dos anexos, el primero contiene los resultados detallados de las simulaciones para todos los casos realizados y el segundo está formado por gráficas que completan el análisis de sensibilidad.

## ÍNDICE

### Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ENERGÍAS RENOVABLES .....	2
3. ENERGÍA SOLAR.....	3
4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	3
4.1    SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS.....	3
5. BATERÍAS .....	7
5.1    BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO.....	7
5.2    BATERÍAS DE ION LITIO .....	8
6. ESTUDIO PREVIO .....	9
7. CASOS DE ESTUDIO .....	11
7.1    CASO 1. CONSUMO BAJO AC .....	11
7.2    CASO 2. CONSUMO BAJO AC CON GENERADOR DIÉSEL .....	16
7.3    CASO 3. CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL AC .....	19
7.4    CASO 4. CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL AC CON GENERADOR DIÉSEL20	
7.5    CASO 5. CONSUMO OFICINA AC .....	21
7.6    CASO 6. CONSUMO OFICINA AC CON GENERADOR DIÉSEL .....	23
7.7    CASO 7. CONSUMO MEDIO AC .....	24
7.8    CASO 8. CONSUMO MEDIO AC CON GENERADOR DIÉSEL .....	26
8. COMPARACIÓN CASOS DE ESTUDIO .....	29
9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	31
10. CONLUSIONES.....	34
11. BIBLIOGRAFÍA .....	35
12. ANEXOS.....	36
12.1    ANEXO I .....	36
12.2    ANEXO II .....	48



## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo consiste en evaluar la posible sustitución de las baterías de plomo-ácido por las de ion de litio en sistemas aislados de la red eléctrica con almacenamiento energético en baterías, como instalaciones fotovoltaicas o híbridas fotovoltaica y generador diésel.

Se realiza en primer lugar una breve introducción de las energías renovables (haciendo especial hincapié en la energía solar), la energía solar fotovoltaica y los diferentes componentes de una instalación fotovoltaica aislada.

Se lleva a cabo un análisis de los distintos tipos de baterías, tanto de plomo ácido como de litio, detallando su funcionamiento y sus principales características. Además se comparan ambas baterías y se seleccionan las más adecuadas para el estudio.

Se plantea posteriormente el estudio previo, donde se definen los diferentes parámetros de interés como la localización, la irradiación y el consumo.

A continuación se lleva a cabo la comparativa de las baterías. Para ello se plantean 4 casos con diferentes consumos, y mediante el software iHOGA 2.3 +PRO [1] se realizan simulaciones para diferentes baterías tanto de plomo-ácido como de litio. Dicho software recoge y analiza todas las posibles combinaciones. Para cada combinación se realiza la simulación del funcionamiento y se obtiene el coste total del sistema, que incluye los costes de los diversos componentes así como los costes de reemplazamiento y operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema, trasladados al momento inicial de la inversión (VAN). Finalmente se ordenan las distintas combinaciones de menor a mayor coste total del sistema.

Una vez obtenidos los resultados, se analizan y grafican en Excel para realizar una comparativa de forma más visual y clara.

Además se realiza un análisis de sensibilidad para ver el efecto de las variables más influyentes, como el precio de las baterías.

Por último, atendiendo a los resultados, extraemos y sintetizamos las conclusiones más relevantes.



## 2. ENERGÍAS RENOVABLES

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales teóricamente inagotables, ya sea por la enorme cantidad de energía que contienen o por su capacidad para regenerarse por medios naturales. Dichas energías se clasifican en función de los recursos naturales que utilizan para la generación de energía [2] [3].

Actualmente, la elevada demanda de electricidad, ha propiciado la búsqueda y el desarrollo de nuevas fuentes energías.

- Eólica
- Solar
- Biomasa
- Mareomotriz
- Geotérmica
- Hidráulica
- Biogás

Para poder realizar un balance completo y poder compararlas con las energías convencionales se deben de estudiar sus puntos fuertes y débiles [4].

Las principales ventajas de las energías renovables son las siguientes:

1. No producen CO<sub>2</sub> ni otros gases contaminantes, por lo que reduce el efecto invernadero.
2. Al utilizarse cerca de donde se producen fomentan el empleo local.
3. Están disponibles en mayor o menor medida en todo el planeta.
4. Tienen poca independencia con el exterior por lo que reducen los costes derivados del transporte dotándolas de una mayor autonomía.

Por otro lado, sus mayores desventajas son:

1. algunos casos producen altos impactos visuales.
2. En general requieren grandes extensiones de terreno para obtener una cantidad apreciable de energía.
3. La falta de disponibilidad del recurso renovable (sol, viento...) durante determinados periodos implica la necesidad de almacenamiento energético, que suele tener elevado coste.
4. Muchas fuentes renovables son de naturaleza aleatoria, lo que implica que la potencia que producen es variable.

Debido a que el objeto de nuestro estudio se trata de un sistema fotovoltaico aislado, nos centraremos en la energía solar.



### 3. ENERGÍA SOLAR

Cada año el sol arroja sobre la tierra 4.000 veces más energía de la que consumimos y se estima que le quedan 6.500 millones de años de vida, por lo cual su potencial es prácticamente ilimitado [5].

La irradiancia solar (potencia de la radiación solar incidente por unidad de área) en un punto determinado depende de diversos factores como el día del año, la hora del día, y la latitud. Además en función de la posición del dispositivo receptor podemos recoger más o menos energía.

Se distinguen entre dos métodos de aprovechar el sol para la producción de energía, **método directo e indirecto**. El primero convierte directamente la luz del sol en energía por medio de células solares fotovoltaicas, mientras que el segundo aprovecha el sol para calentar un fluido y convertirlo en vapor (centrales térmicas solares).

### 4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica utiliza el método directo y emplea una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico, que se produce cuando los fotones procedentes de la luz solar impactan con los electrones de un metal arrancándolos de sus átomos. El electrón se mueve durante el proceso, dando origen a una corriente eléctrica [6]. La tecnología fotovoltaica más común se basa en células de silicio (unión P-N), en las que los fotones inciden sobre la zona N generando un par electrón-hueco.

Las **instalaciones solares fotovoltaicas** se pueden clasificar en función de la aplicación a la que estén destinadas.

- Instalaciones solares fotovoltaicas **con conexión a la red**, donde la energía que se produce no es utilizada directamente, sino que es inyectada y vendida a la red eléctrica de distribución. Algunos ejemplos son, las centrales fotovoltaicas, huertos y solares o edificios fotovoltaicos.
- Instalaciones solares fotovoltaicas **aisladas de la red**, utilizadas para autoconsumo. Se puede distinguir entre aplicaciones especiales, como por ejemplo los satélites, y para aplicaciones terrestres, véase para telecomunicaciones, señalizaciones, alumbrado público, bombeo de agua etc.

#### 4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas fotovoltaicos aislados, también llamados "*Off Grid*", son aquellos que no necesitan de la energía de la red eléctrica para funcionar, si no que se autoabastecen de la energía que generan los módulos fotovoltaicos [7].

Un **sistema fotovoltaico aislado** está formado por los siguientes elementos (Figura 1):

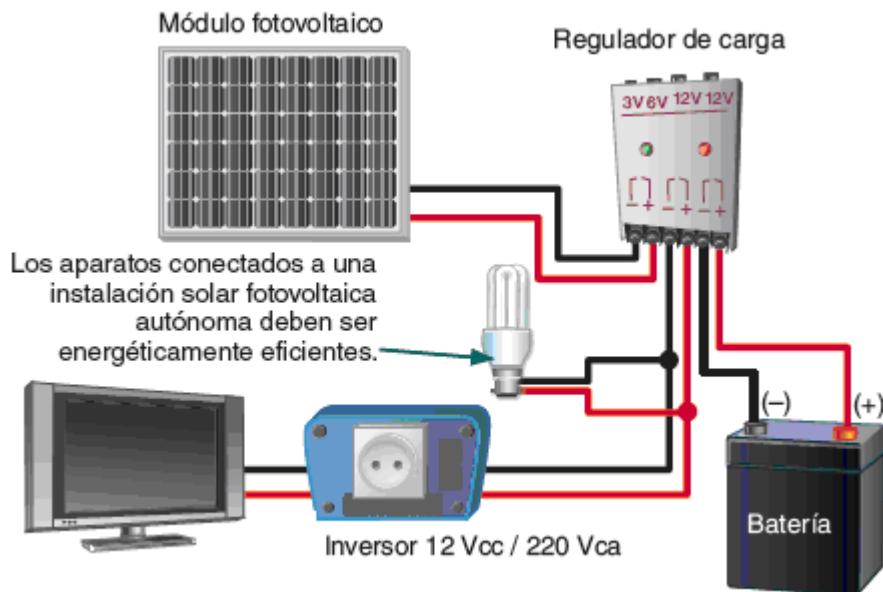


Figura 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica [8].

**Célula fotovoltaica:** Es el elemento principal de una instalación solar, y convierte los fotones de la luz solar directamente en electricidad [8].

La tecnología más común está basada en el silicio y se compone de dos semiconductores. La parte en contacto con la radiación solar es de tipo N, y la situada en la zona de la oscuridad, de tipo P. En la unión entre ambas, los electrones libres de la capa N entran en la capa P y se recombinan con los huecos de esta capa. Existiendo así un campo eléctrico entre ambas capas, de N hacia P.

Cuando un fotón arranca un electrón de la matriz, se genera un electrón libre y un hueco, bajo el efecto de este campo eléctrico se les obliga a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de recombinarse, produciendo una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material.

Los parámetros más importantes de las células solares son los siguientes:

- **Corriente de iluminación:** Es la corriente generada al incidir la radiación solar sobre la célula.
- **Corriente de oscuridad:** Es la corriente generada en el interior del semiconductor durante la recombinación de los electrones y huecos.
- **Tensión de circuito abierto:** Máxima tensión en los extremos de la célula cuando esta no está conectada a ninguna carga.

- **Corriente de cortocircuito:** Máxima corriente que puede circular por la célula y que se da cuando se cortocircuitan sus terminales.

**Módulos fotovoltaicos:** Consisten en un conjunto de células fotovoltaicas, conectadas entre sí, para obtener valores concretos de tensión (12 V, 24 V...), que fijarán la tensión de trabajo del sistema fotovoltaico.

Existen diferentes tipos de módulos fotovoltaicos en función de la tecnología de fabricación de las células [9].

- **Silicio monocristalino:** Compuesto por secciones de una barra de silicio cristalizado en una sola pieza. Reconocibles por su forma circular u orthogonal, son los más caros de fabricar pero a la vez los más eficientes.
- **Silicio policristalino:** De materiales semejantes al monocristalino pero con un proceso de cristalización diferente. Las células son una reducción de corte de un bloque de silicio compuesto por una gran cantidad de cristales. Son más baratos de fabricar que los monocristalinos pero con menor eficiencia.
- **Silicio amorfo:** Basados en el silicio pero de estructura no cristalina. Son fabricados colocando una capa muy fina de silicio amorfo sobre distintas superficies. Son de bajo coste de fabricación debido a que su potencia se degrada con el uso.

En función de la potencia que se desee obtener en la instalación fotovoltaica, las células pueden conectarse **en serie**, para aumentar la tensión total en los extremos, o **en paralelo**, para aumentar la intensidad total (Figura 2).

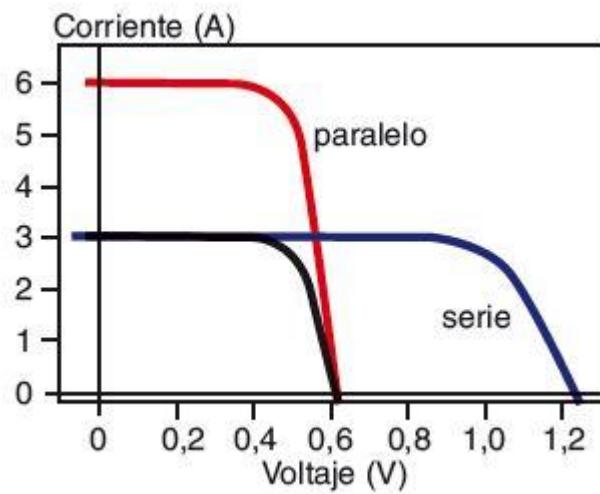


Figura 2. Asociación de células solares [8].

**Baterías:** Son dispositivos capaces de convertir la energía química almacenada, en energía eléctrica. Las baterías, son recargadas con la energía que proporcionan los módulos solares por medio del regulador y son capaces de entregarla después a la salida de la instalación, en los momentos en que se necesite.



Las principales funciones de estos elementos son, suministrar una potencia instantánea elevada, superior a la que los paneles podrían proporcionar en momentos desfavorables, y fijar la tensión de trabajo de la instalación [8].

Los parámetros a destacar de las baterías son:

**Capacidad:** Se define como la cantidad de electricidad (carga eléctrica) que puede suministrar la batería si se descarga a corriente constante en un tiempo determinado. Se mide en amperios hora (Ah).

**Eficiencia de carga:** Es la relación entre la energía que se emplea para cargar la batería y la que realmente se almacena.

**Eficiencia de descarga:** Es la relación entre la energía que se obtiene al descargar la batería y la que realmente estaba almacenada.

**Profundidad de descarga:** Es el valor en tanto por ciento de la energía que se obtiene de un acumulador plenamente cargado en una descarga. En general, a menor profundidad de descarga mayor vida útil de la batería.

**Autodescarga:** Pérdida de energía por reacción entre los materiales que forman los elementos de una batería cuando no está conectada a ninguna carga.

En el próximo capítulo se profundizará en los diferentes tipos de baterías, focalizándose en los más apropiados para sistemas aislados.

**Regulador de carga:** Es el encargado de proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas y es el nexo de unión entre los paneles y los elementos de consumo de la instalación. Además fija el valor de la tensión nominal del sistema [10].

Trabaja por lo tanto en dos zonas. En la zona de carga, se asegura que la tensión proveniente de los módulos fotovoltaicos, la cual es superior a la de las baterías para asegurar el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad, sea la adecuada para los acumuladores. Y en la zona de descarga, se ocupa de garantizar el suministro diario y evitar una descarga excesiva de las baterías.

**Inversor:** Su función principal consiste en transformar la corriente continua, que generan los módulos solares, en energía alterna como la de la red eléctrica, compatible con los electrodomésticos y aparatos de consumo habitualmente utilizados en una vivienda.

Las principales características a tener en cuenta en un inversor son las siguientes:

- Alto rendimiento para alto rango de potencias.
- Precisión en la tensión de salida compatible con la red eléctrica.



- Potencia de arranque, es decir alta fiabilidad.
- Seguridad y protección contra cortocircuitos.

## 5. BATERÍAS

### 5.1 BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO

Son las baterías más utilizadas debido a su bajo coste. Están formadas por dos electrodos de plomo y un electrolito compuesto por una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. En su fabricación, las placas positivas están recubiertas o impregnadas de dióxido de plomo ( $PbO_2$ ), y las negativas están formadas por plomo esponjoso.

Existen diferentes criterios de clasificación para estas baterías. En función de la **aplicación a la que esté destinada** podemos encontrar [10] [11] [12]:

- **Baterías de arranque:** Proporcionan elevadas corrientes en cortos períodos de tiempo pero resisten ciclos de poca profundidad de descarga. Son utilizadas principalmente en el sector de arranque para automoción.
- **Baterías de tracción:** Diseñadas para ciclos muy profundos y utilizadas principalmente en vehículos eléctricos. Están compuestas por placas más gruesas para una mayor durabilidad.
- **Baterías estacionarias:** Son capaces de resistir descargas profundas y esporádicas. Funcionan muy bien en instalaciones que necesitan de un consumo continuo e ininterrumpido. La vida útil de estas baterías puede llegar a los 20 años.
- **Baterías solares:** Son baterías adaptadas para los sistemas fotovoltaicos. Buscan un compromiso entre precio, mantenimiento y vida útil. Son parecidas a las de arranque pero con placas más gruesas y más electrolito. Además son más resistentes a las descargas (si bien tienen un límite, dependiendo de la tecnología entre el 60 y el 80% de la profundidad de descarga). Las de tipo tubular optimizadas para las aplicaciones fotovoltaicas son las más adecuadas en sistemas solares, pudiendo ser OPzS (electrolito líquido) o bien OPzV (electrolito gel).

Otro criterio de clasificación es según la **tecnología de fabricación empleada**:

- **Baterías líquidas:** Son las más antiguas y se pueden encontrar en versión abierta o cerrada. Tienen la problemática que durante la carga se puede escapar hidrógeno. Además existe riesgo de perder ácido, reduciendo los ciclos de vida la batería. No obstante son económicas.

- **Baterías tipo VRLA** (Valve Regulated Lead Acid battery): En estas baterías el escape de los gases durante la electrólisis, es controlada por unas válvulas sensibles a la presión. Además contienen una tecnología que recombina el oxígeno y el hidrógeno que sale de las placas eliminando así las pérdidas de agua. Se pueden dividir principalmente en dos grupos [13]:
  1. **Gel**: El ácido de estas baterías se encuentra en forma de gel, evitando así posibles pérdidas. Además son resistentes a la corrosión, aguantan bien descargas profundas y su vida es mayor que las baterías líquidas. No obstante son más caras.
  2. **AGM**: En estas baterías el ácido está fijado en fibras de vidrio, evitando así los posibles derrames de ácido que pudieran derivar de una rotura. Tienen una resistencia interna baja lo que les permite entregar corrientes altas y tienen además una vida útil alta [14].

A la hora de elegir una batería para una instalación, tenemos que tener en cuenta factores como la profundidad de descarga, la confiabilidad, el mantenimiento de la batería o la inversión inicial y el coste anual.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas requieren de ciclos profundos de descarga por lo que se elegirán las baterías estacionarias o baterías específicas para aplicaciones solares.

## 5.2 BATERÍAS DE ION LITIO

El litio es el metal más ligero que existe. Su bajo peso atómico permite crear baterías de gran capacidad y poco peso pudiendo almacenar hasta tres veces más energía que una batería de plomo del mismo tamaño [15] [16].

Las primeras baterías de litio estaban formadas por un ánodo de Li metálico y un electrolito líquido. Sin embargo con el avance en las tecnologías portátiles, comenzó a surgir la necesidad de tener que recargar las baterías. Este hecho generó un problema en el sector, pues con este modelo de baterías durante los ciclos de operación, existía el riesgo de ignición del disolvente orgánico empleado en los electrolitos líquidos. Debido a esto, se comenzó a estudiar la posibilidad de sustituir el ánodo por otro material y de este modo surgieron las baterías de ion litio.

Para obtener mayores beneficios las baterías de litio se combinan con diferentes materiales.

1. Litio-Cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ )
2. Litio-Manganoso ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )
3. Litio-Fosfato ( $\text{LiFePO}_4$ )
4. NMC ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ )



Las más utilizadas y las que se elegirán para las simulaciones, son las de litio-fosfato y las NMC [17].

Las de **litio-fosfato** se degradan más lentamente que otras baterías de ion litio, lo que les aporta una mayor vida útil. Además debido a la estabilidad química y térmica del enlace Fe-P-O las convierte en una de las baterías más seguras ante sobrecargas.

Las **NMC** ofrecen una alta densidad energética de hasta 220 Wh/kg. En ellas el cátodo está formado aproximadamente por un tercio de níquel, un tercio de manganeso y un tercio de cobalto.

Las principales **ventajas** de utilizar estas baterías son las siguientes:

- No tienen memoria de carga, por lo que no es necesario descargarlas previamente cada vez que se quieran cargar.
- Baja autodescarga, pueden estar sin usarse largos períodos de tiempo y conservar su energía.
- Elevada densidad de energía, acumulan mayor cantidad de energía en menos volumen.
- Su profundidad de descarga puede ser de hasta el 100 %.

Por otra parte, las baterías de ion litio presentan en la actualidad las siguientes **desventajas**:

- Son más caras en comparación con las de plomo para la misma capacidad.
- Riesgo de sobrecalentamiento.

## 6. ESTUDIO PREVIO

En este apartado, se van a definir los principales parámetros de interés antes de comenzar con las simulaciones.

Se dispone de datos mensuales de la **irradiación** solar, obtenidos con el software iHOGA, de una vivienda situada a las afueras de Zaragoza (41° 44' 50,057"N 0° 53' 15,579"O).

Para la obtención de los datos, se ha tenido en cuenta en primer lugar el ángulo de azimut. Al no tener seguimiento solar y estar en el hemisferio norte, será de 0°, es decir, que los paneles quedarán orientados hacia el sur. Otro parámetro de importancia es el ángulo de inclinación de los paneles, en este caso el software

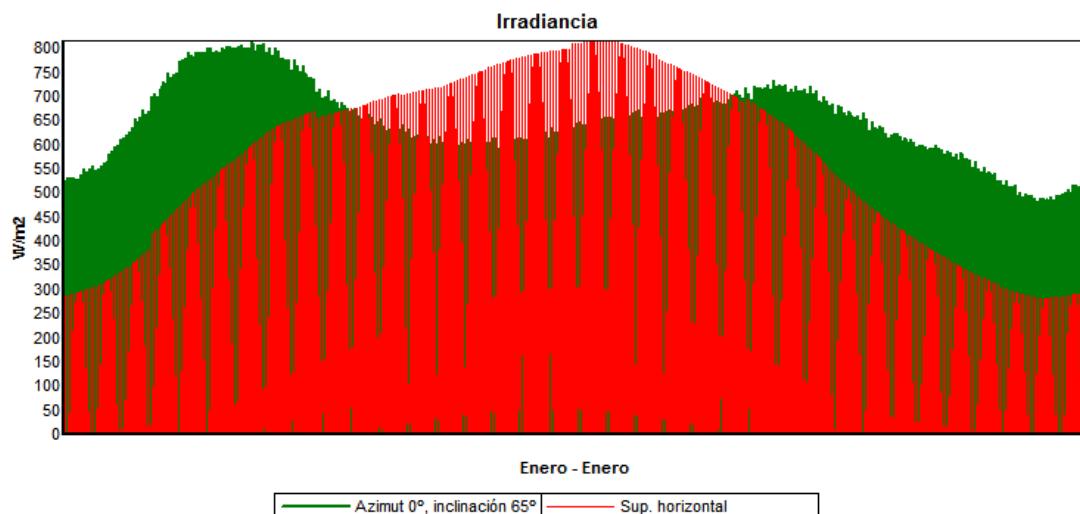
optimizará el ángulo más apropiado, maximizando la producción en el mes más desfavorable. Para la ubicación seleccionada, este ángulo será de 65°.

A partir de estos datos, el programa genera los valores de la irradiación diaria media mensual (Tabla 1), tanto para una superficie horizontal como para una inclinada.

Mes	Irradiación diaria media mensual sobre una superficie horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	Irradiación diaria media mensual para una superficie inclinada (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	1,89	3,5
Febrero	3,03	5,04
Marzo	4,32	5,38
Abril	5,2	4,74
Mayo	5,97	4,42
Junio	6,7	4,43
Julio	6,77	4,68
Agosto	5,8	4,85
Septiembre	4,53	4,94
Octubre	3,03	4,2
Noviembre	2,06	3,49
Diciembre	1,59	2,91

**Tabla 1.** Irradiación diaria media sobre una superficie horizontal y sobre una superficie inclinada.

Por otra parte, en la gráfica (Figura 3) se puede observar la irradiancia a lo largo del año para una superficie horizontal y una inclinada.



**Figura 3.** Irradiación anual.

Una vez definida la localización y los parámetros de irradiación vamos a introducir los valores del **consumo** de la vivienda. En este trabajo, se utilizarán cuatro perfiles ya definidos en el software iHOGA, con diferentes consumos.

En la siguiente imagen (Figura 4) podemos observar la ventana de consumo del software iHOGA. En ella se muestra una gráfica con el consumo medio del mes de enero. Además en la parte inferior se ha calculado el consumo total medio diario.

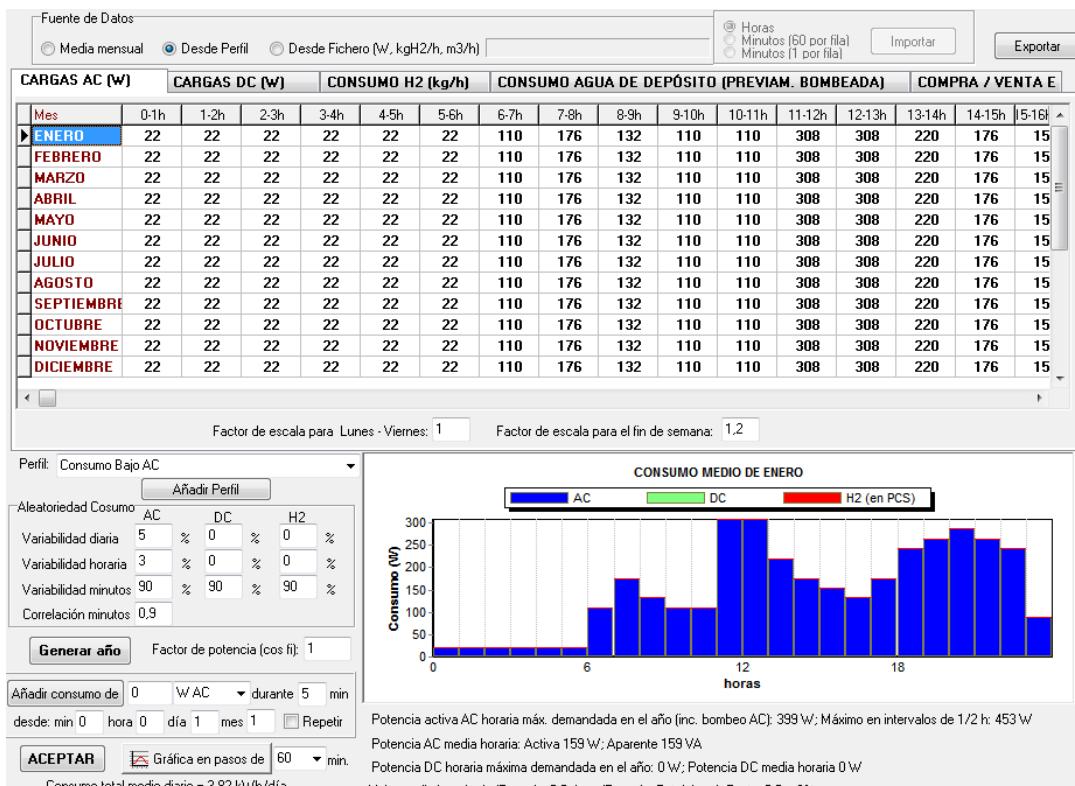


Figura 4. Ventana de consumo del software iHOGA.

## 7. CASOS DE ESTUDIO

### 7.1 CASO 1. CONSUMO BAJO AC

En primer lugar, se calculará de forma teórica los componentes de nuestro sistema y posteriormente se seleccionará en iHOGA los más adecuados [18].

- **Paneles fotovoltaicos**

Nombre	Tensión nominal	Intensidad de cortocircuito	Potencia nominal	Coste adquisición	Vida esperada
aSi12-Schott: ASI100	12 V	6,79 A	100 W	110 €	25 años

Tabla 2. Características paneles fotovoltaicos. Caso 1.

Para calcular el número de paneles necesarios, necesitamos conocer el consumo medio diario mensual del mes crítico ( $E_{TCR}$ ), en nuestro caso diciembre, y dividirlo entre la energía diaria que puedo entregarnos cada panel ( $E_p$ ).

La  $E_{TCRI}$  la obtenemos de la tabla de consumos (Figura 4), para el perfil consumo bajo de AC es 3,83 kWh/día. La  $E_p$  la calculamos de la manera siguiente.

$$E_p = P_{MPP} \cdot HPS_{CRI} \cdot PR = 100 \cdot 2,91 \cdot 0,6 = 174,6 \text{ Wh/día}$$

Donde  $P_{MPP}$  corresponde a la potencia nominal del panel en condiciones estándar,  $HPS_{CRI}$  a la irradiación del mes crítico, obtenido de la tabla de irradiación media diaria (Tabla 1), y PR el "performance ratio" (factor global de funcionamiento).

Por lo tanto el número total de paneles será:

$$P_T = \frac{E_{TCRI}}{E_p} = \frac{3830}{174,6} \approx 22 \text{ paneles}$$

Ahora se calculará el número de paneles en serie y paralelo, suponiendo que el regulador de carga no incluirá seguidor de máxima potencia (MPPT), que es lo habitual en reguladores pequeños.

$$P_S = \frac{V_{bat}}{V_{np}} = \frac{48}{12} = 4 \text{ paneles}$$

Donde  $V_{bat}$  es la tensión nominal del banco de baterías (fijada en 48 V) y  $V_{np}$  es la tensión nominal del panel fotovoltaico.

Para obtener el número de paneles en paralelo se calculará en primer lugar el consumo de electricidad diario medio ( $Q_{AH}$ ) y la corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico ( $I_{FV,MPP}$ ).

$$Q_{Ah} = \frac{E_{TCRI}}{V_{BAT}} = \frac{3830}{48} = 79,8 \text{ Ah/día} \quad I_{FV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{CRI}} = \frac{79,8}{2,91} = 27,4 \text{ A}$$

Y el número de paneles en paralelo es:

$$P_P = \frac{I_{FV,MPP}}{I_{CC}} = \frac{27,4}{6,79} \approx 5 \text{ paneles}$$

Donde  $I_{CC}$  es la corriente de cortocircuito del panel.

Por tanto, finalmente colocaremos 5 ramas en paralelo con 4 paneles por rama, es decir, un total de 20 paneles. Observamos que este número es distinto que el de paneles totales, calculado previamente. Esto se debe a que el cálculo inicial se ha basado en una estimación del PR de 0,6. El cálculo final es más exacto.

- **Inversor**

Para elegir el inversor nos fijamos directamente en la potencia media aparente de la tabla de consumos (Figura 4) y la multiplicamos por un coeficiente de seguridad del



20%. Además, para no tener problemas en caso de que alimentemos a cargas que consuman más corriente en el arranque, lo multiplicamos por un factor de 3.

$$P_{INV} = 1,2 \cdot S_M = 1,2 \cdot 159 \cdot 3 = 572,4 \text{ VA}$$

El inversor que elegiremos para este caso será:

Nombre	Potencia	Eficiencia de carga	VDC máxima	Coste adquisición	Vida esperada
STECA:SOLARI X PI1200	900 VA	100 %	64 V	650 €	10 años

Tabla 3. Características inversor. Caso 1.

- **Regulador**

A la hora de calcular el regulador, hay que tener en cuenta la cantidad de corriente que es capaz de suministrar el panel fotovoltaico.

$$P_R = 1,25 \cdot I_{CC} \cdot P_P = 1,25 \cdot 6,79 \cdot 5 = 42,4 \text{ A}$$

Donde  $P_P$  el número de paneles en paralelo.

El regulador utilizado es el siguiente:

Nombre	Intensidad máxima	VDC mínima	VDC máxima	Coste adquisición	Vida esperada
STECA: P TAROM 4055	55 A	48 V	48V	1500 €	10 años

Tabla 4. Características regulador. Caso 1.

- **Baterías**

Ahora vamos a calcular la capacidad nominal mínima del banco de baterías. Los parámetros más importantes serán, la profundidad de descarga ( $P_D$ ) y el número de días de autonomía ( $D_A$ ) que tendrá nuestro sistema. En nuestro caso se calculará para una autonomía de 4 días y un factor de corrección de temperatura ( $F_{CT}$ ) de 1.

$$C_d = \frac{E_{TCRI} \cdot D_A}{P_D \cdot F_{CT} \cdot V_{BAT}} = \frac{3830 \cdot 4}{0,8 \cdot 1 \cdot 48} = 398,95 \text{ Ah}$$

Las baterías que simularemos serán las siguientes:

Nombre	Tipo	Capacidad nominal	V nominal	Coste adquisición	Eficiencia	€/kWh	Número ciclos equivalentes
LG Chem: RESU6.5	Litio	126 Ah	48 V	5100 €	95%	843,25	2879,9
OPzS-FIAMM:LM490	Plomo	546 Ah	2 V	216 €	85%	197,8	1018,7
OPzV-Hoppecke:620	plomo	505 Ah	2 V	301 €	85%	298	1174,4

Tabla 5. Características baterías de litio y plomo. Caso 1.

Cabe destacar que para las simulaciones, se usan baterías de litio de bajo voltaje, debido a que las de alto voltaje no funcionan con los inversores comerciales. Además, las baterías tendrán diferentes capacidades y será el software iHOGA el que se encargará de generar un banco que pueda cubrir el consumo de cuatro días.

La tensión nominal de las baterías de litio es de 48 V, que coincide con la tensión nominal DC del sistema, por lo que habrá una sola batería en serie. En el caso de las de plomo, la tensión nominal es de 2 V, por lo que se necesitan 24 en serie para obtener los 48 V de tensión nominal DC.

En cuanto a los modelos de vida de las baterías, utilizaremos el modelo de envejecimiento de Schiffer para las baterías de plomo, ya que es más preciso que el resto por que tiene en cuenta el envejecimiento por corrosión. Por último, para las baterías de litio utilizaremos el modelo Grot et al. 2015, la cual proporciona buenos resultados para baterías con perfiles de ciclos simétricos [19] [20].

## RESULTADOS

Una vez definidos todos los componentes, el software iHOGA evalúa todas las posibles combinaciones, considerando los componentes seleccionados, pero optimizando el número de paneles y baterías en paralelo. En este caso, el número de paneles en paralelo estará entre 0 y 8 y el de baterías entre 1 y 5, generando un total de 135 combinaciones. Tras evaluar todas las combinaciones el software indica la solución económica más favorable.

A continuación se compararán las soluciones óptimas para baterías de plomo y para baterías de litio. En el ANEXO I se muestran detalladamente los resultados obtenidos de las simulaciones.

### 1. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 1p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 6p. (inc. 65º)
Inversor	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
Regulador	STECA: P TAROM 4055 de 55 A

<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	-
<b>Coste total (VAN)</b>	26.929,5 € (0,77 €/kWh)

Tabla 6. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 1.

2. Baterías de litio: **LG Chem RESU6.5 (126 Ah): 1s. x 4p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 5p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4055 de 55 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	-
<b>Coste total (VAN)</b>	42.652,8 € (1,22 €/kWh)

Tabla 7. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 1.

Si analizamos los costes de ambos sistemas, observamos que ambas baterías son capaces de generar toda la energía necesaria, pero el coste total del sistema con las baterías de litio, es casi el doble. Para poder entender mejor estos resultados, se van a analizar los costes de las baterías.

Coste total Banco Baterías (VAN): 16468,2 €

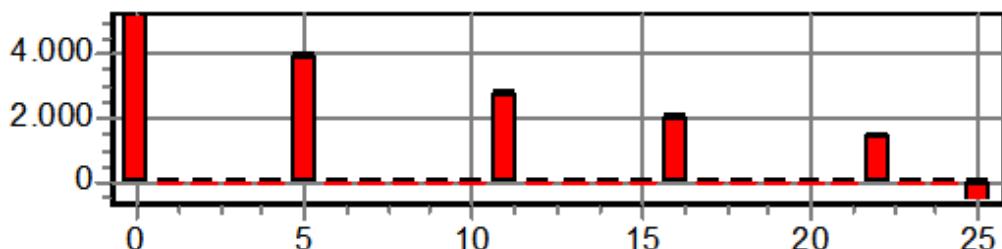


Figura 5. Coste de las baterías de plomo. Caso 1.

Coste total Banco Baterías (VAN): 30561,1 €

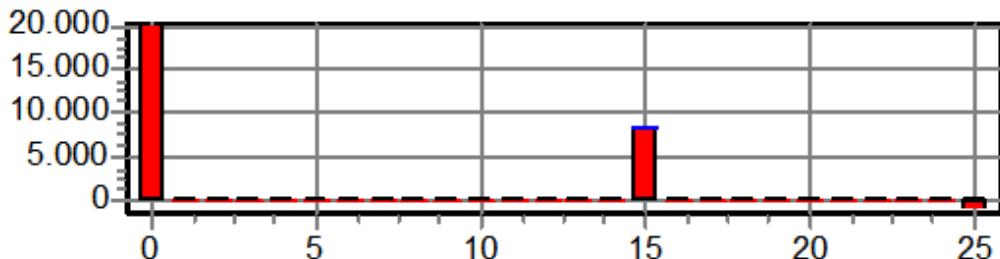


Figura 6. Coste de las baterías de litio. Caso 1.

En la (Figura 5) se puede observar que las baterías de plomo, a pesar de tener que cambiarlas aproximadamente cada 5 años en comparación con las de litio que duran



15 años, siguen siendo mucho más baratas. Por lo tanto, para este caso con un consumo bajo, será más rentable el uso de las baterías de plomo.

En el ANEXO I se muestran detalladamente los resultados de las simulaciones.

## 7.2 CASO 2. CONSUMO BAJO AC CON GENERADOR DIÉSEL

Para este caso, se mantendrán todos los componentes del CASO 1 y se añadirá un generador diésel.

- **Generador diésel**

Para realizar el dimensionado del generador, se tiene que tener en cuenta que la potencia máxima de este, debe ser mayor que la demandada. En este caso al tener un consumo bajo, se elegirá el siguiente generador:

Nombre	Potencia nominal	potencia mínima	Coste combustible	Coste adquisición	Vida esperada
Diésel 1.9kVA	1,9 kVA	30% (Pn)	1,3 €/l	800 €	10000 horas

Tabla 8. Características generador diésel. Caso 2.

El generador diésel se activará cuando las baterías no puedan cubrir el consumo del sistema.

## Resultados

### 1. Baterías de litio: **LG Chem: RESU6.5 (126 Ah): 1s. x 1p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 4p. (inc. 65º)
Inversor	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
Regulador	STECA: P TAROM 440 de 40 A
E no servida	0%
Generador	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
Coste total (VAN)	17.669,4 € (0,51 €/kWh)

Tabla 9. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 2.

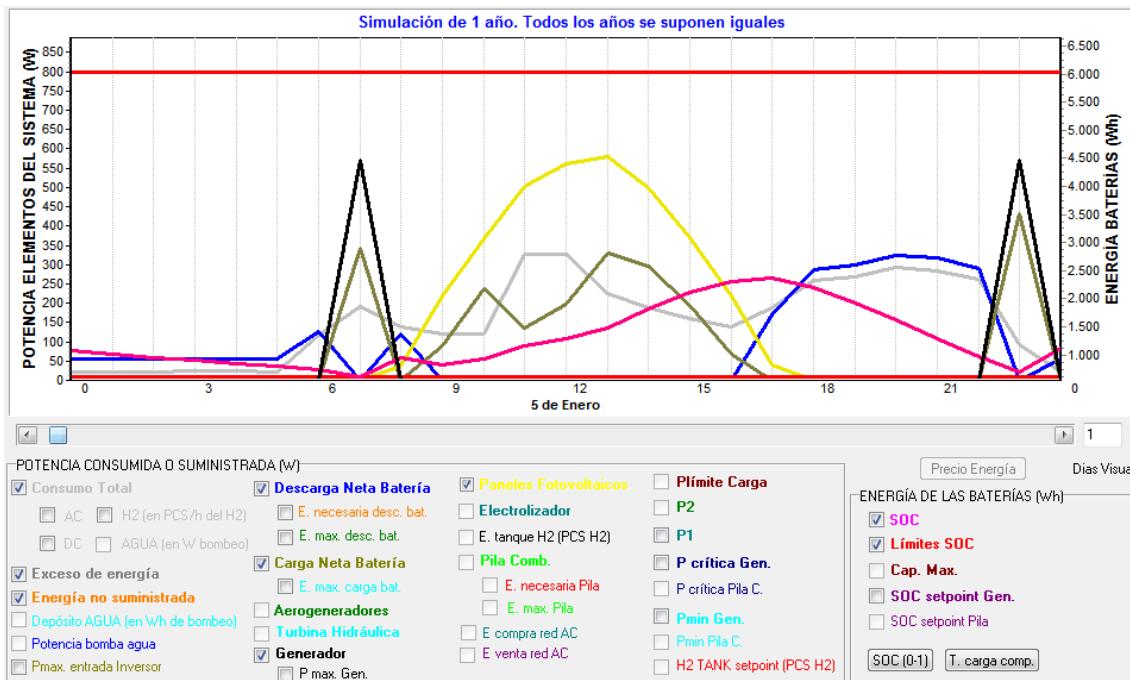
### 2. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 1p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 6p. (inc. 65º)
Inversor	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
Regulador	STECA: P TAROM 4055 de 55 A
E no servida	0%
Generador	-

**Coste total (VAN)** 26.924,2 € (0,51 €/kWh)

**Tabla 10.** Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 2.

Tras realizar la simulación, se observa que el conjunto óptimo, está formado por baterías de litio con generador diésel. En la siguiente imagen (Figura 7), se puede ver que durante la madrugada y por la noche, al no poder captar la luz solar, el SOC (estado de carga) cae por debajo del límite y en ese momento se activa el generador (pico negro) y se carga la batería.



**Figura 7.** Simulación horaria de la energía del sistema.

El cambio respecto al caso anterior, se debe a que se ha reducido el número de baterías de litio. Hemos pasado de tener cuatro en paralelo, necesarias para cubrir el consumo del sistema, a una. Como los principales costes eran debidos a las baterías, al disminuir su número, estos se reducen drásticamente (Figura 8).

En cambio, para las baterías de plomo, tenemos el problema que su tensión nominal es de 2 V y la tensión nominal del sistema de 48 V. Por lo tanto, es necesario colocar un banco de 24 baterías en serie para poder alcanzar la tensión de salida. De este modo no se puede reducir el número de baterías respecto al caso anterior y no será necesario el uso del generador.

Coste total Banco Baterías (VAN): 8375,8 €

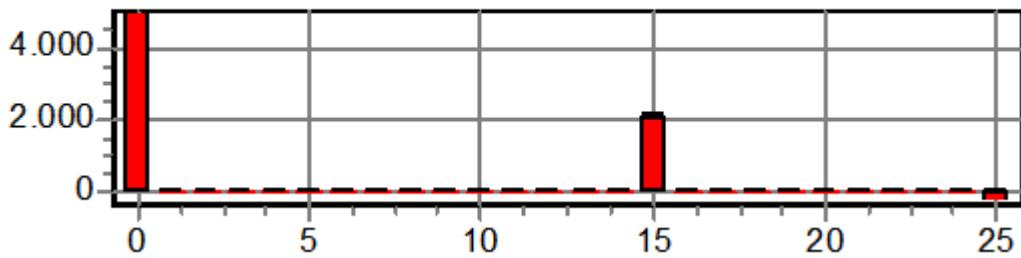


Figura 8. Coste de las baterías de litio. Caso 2.

Coste total Banco Baterías (VAN): 16468,2 €

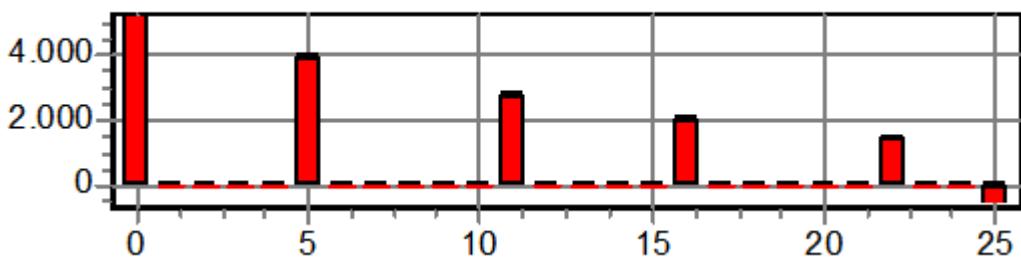


Figura 9. Coste de las baterías de plomo. Caso 2.

En el caso de baterías de litio el sistema óptimo es de menor coste, pero esto es debido a que, dado que el sistema incluye generador diésel, ya no se requiere una mínima autonomía por parte de las baterías, por lo que se selecciona baterías de menor capacidad. Para que la comparativa entre plomo y litio sea justa, añadiremos baterías de plomo de menor capacidad y mayor tensión nominal. Se añaden las siguientes baterías, y se vuelve a simular.

- **Baterías**

Nombre	Tipo	Capacidad nominal	V nominal	Coste adquisición	Eficiencia	€/kWh	Número ciclos equivalentes
Trojan12V :27TMX	Plomo	97 Ah	12 V	150 €	80%	128,9	292,4
Sonnesch ein12V:90 A	Plomo	78 Ah	12 V	255 €	85 %	272,4	858,1
Rolls12V: T12 250	Plomo	170 Ah	12 V	464 €	85%	227,45	573

Tabla 11. Características baterías de litio y plomo. Caso 1.

## Resultados



1. Baterías de plomo: **Sonneschein12V:90A (78 Ah): 4s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 6p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4055 de 55 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	15.342,9 € (0,44 €/kWh)

Tabla 12. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 2.

Al seleccionar baterías de plomo con menor capacidad y tensión nominal mayor (12 V), se reduce el número de baterías en serie a cuatro y por lo tanto los costes disminuyen, siendo menores que los obtenidos anteriormente para el sistema con baterías de litio.

### 7.3 CASO 3. CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL AC

Ahora, se va a comparar el funcionamiento de ambas baterías para un consumo residencial convencional. Como el consumo total medio diario no supera en gran medida el utilizado para el CASO 1, se mantendrán los mismos componentes del sistema y se añadirá una batería de litio de mayor capacidad.

- **Baterías**

Nombre	Tipo	Capacidad nominal	V nominal	Coste adquisición	Eficiencia	Número ciclos equivalentes
LG Chem: RESU6.5	Litio	126 Ah	48 V	5100 €	95%	2879,9
LG Chem: RESU10	Litio	189 Ah	48 V	6800 €	95 %	2879,9
OPZS-FIAMM:LM490	Plomo	546 Ah	2 V	216 €	85%	1018,7
OPzV-Hoppecke:620	plomo	505 Ah	2 V	301 €	85%	1174,4

Tabla 13. Características baterías de litio y plomo. Caso 3.

## RESULTADOS

1. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 2p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 11p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4140 de 149 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	-

**Coste total (VAN)**

47.641,5 € (0,76 €/kWh)

Tabla 14. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 3.

2. Baterías de litio: **LG Chem RESU10 (189 Ah): 1s. x 4p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 11p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4140 de 149 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	-
<b>Coste total (VAN)</b>	57.940,8 € (0,92 €/kWh)

Tabla 15. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 3.

Como era de esperar al elevar el consumo, también aumentan los costes del sistema. Además, igual que en el CASO 1, debido al elevado precio de las baterías de litio, el conjunto óptimo está formado por baterías de plomo.

Cabe destacar que la diferencia entre los costes en comparación con el CASO 1, se ha reducido. Por otra parte, las baterías de litio óptimas para el sistema, son las de mayor capacidad. Esto se debe a que para proporcionar la misma cantidad de energía, se necesitan seis baterías RESU6.5 y en el otro caso, cuatro baterías RESU10. Por lo tanto, a pesar de que las RESU10 son más caras, esta diferencia de dos baterías hace que los costes totales de las RESU6.5 sean más elevados.

#### 7.4 CASO 4. CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL AC CON GENERADOR DIÉSEL

Igual que para el CASO 2, se añadirá un generador diésel y se compararán los resultados.

### RESULTADOS

1. Baterías de litio: **LG Chem: RESU6.5 (126 Ah): 1s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 10p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4140 de 149 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	25.860,5 € (0,41 €/kWh)

Tabla 16. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 4.

2. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x12p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	STECA: P TAROM 4140 de 149 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	33.552,2 € (0,53 €/kWh)

Tabla 17. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 4.

Después de añadir el generador diésel, se puede observar un cambio muy parecido al ocurrido en el CASO 2, con una reducción considerable de los costes del sistema. Además, a diferencia del caso CASO 3, el sistema optimizado está compuesto por baterías de litio.

Otro dato a destacar es que se han elegido las baterías de litio de menor capacidad. Esto es debido a que con una batería para ambos casos es suficiente. Con la de menor capacidad, el generador diésel estará más horas en funcionamiento pero el coste que esto supone será menor que la diferencia de precios entre las baterías.

Al igual que en el CASO 2, vamos a añadir baterías de plomo de menor capacidad y tensión nominal mayor.

## Resultados

### 1. Baterías de plomo: Trojan12V: 27TMX (97 Ah): 4s. x 2p.

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 17p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX PI1200 de 900 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 151 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	24.193,6 € (0,39 €/kWh)

Tabla 18. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 4.

Al aumentar la tensión nominal y reducir el número de baterías en serie, los costes del sistema con baterías de plomo son inferiores que los obtenidos con las baterías de litio.

## 7.5 CASO 5. CONSUMO OFICINA AC

El consumo total medio diario será de 14,48 kWh/día. Los componentes serán los mismos que para los casos anteriores a excepción del inversor.

- **Inversor**

$$P_{INV} = 1,2 \cdot S_M = 1,2 \cdot 603 \cdot 2 = 1447,2 \text{ VA}$$

El inversor que elegiremos para este caso será:

Nombre	Potencia	Eficiencia de carga	VDC máxima	Coste adquisición	Vida esperada
STECA:SOLARI X 1200X2	1800 VA	100 %	64 V	1200 €	10 años

Tabla 19. Características inversor. Caso 5.

## Resultados

1. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 4p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 20p. (inc. 65º)
Inversor	STECA: SOLARIX 1200X2 de 1800 VA
Regulador	PV bat. Genérico de 177 A
E no servida	0%
Generador	-
Coste total (VAN)	78.584 € (0,6 €/kWh)

Tabla 20. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 5.

2. Baterías de litio: **LG Chem: RESU10 (189 Ah): 1s. x 9p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 19p. (inc. 65º)
Inversor	STECA: SOLARIX 1200X2 de 1800 VA
Regulador	PV bat. Genérico de 168 A
E no servida	0,04%
Generador	-
Coste total (VAN)	114.887,1 € (0,87 €/kWh)

Tabla 21. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 5.

Tras realizar la simulación, se puede observar que la diferencia entre los costes de uno y otro sistema es más grande en comparación con el resto de casos.

**Coste total Banco Baterías (VAN): 87956,6 €**

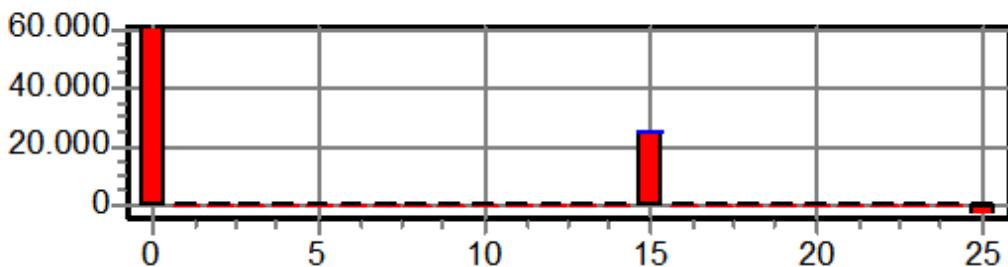


Figura 10. Coste de las baterías de litio. Caso 5.

Coste total Banco Baterías (VAN): 56856,2 €

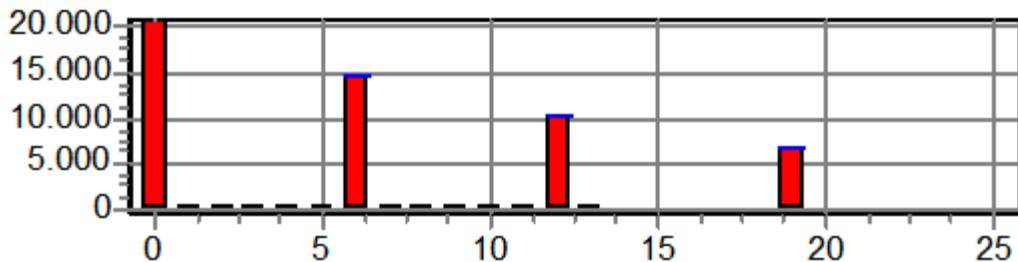


Figura 11. Coste de las baterías de plomo. Caso 5.

Si se analizan los costes de las baterías, se puede ver que la diferencia entre ambos resultados se debe principalmente a los precios de las baterías. A pesar de que el número de baterías de litio siempre es menor que el de plomo, su elevado precio hace que sean menos rentables.

## 7.6 CASO 6. CONSUMO OFICINA AC CON GENERADOR DIÉSEL

Al igual que en los casos anteriores, se añadirá un generador diésel y se volverá a realizar la simulación.

### Resultados

1. Baterías de litio: **LG Chem: RESU10 (189 Ah): 1s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 20p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX 1200X2 de 1800 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 177 A
<b>E no servida</b>	0,04%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	32.382 € (0,25 €/kWh)

Tabla 22. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 6.

2. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 21p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX 1200X2 de 1800 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 186 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	38.301,4 € (0,29 €/kWh)

Tabla 23. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 6.

Una vez más, al añadir el generador diésel, el sistema de menor coste está formado por baterías de litio. Las conclusiones son las mismas, solo se necesitará una batería de litio, mientras que de plomo para alcanzar la tensión de salida serán necesarias 24. Esta diferencia será mayor que la de los precios de ambas baterías.

Al igual que en los casos anteriores con generador diésel, vamos a añadir baterías de plomo de menor capacidad y mayor tensión nominal.

## Resultados

### 1. Baterías de plomo: Trojan12V: 27TMX (97 Ah): 4s. x 2p.

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 22p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	STECA: SOLARIX 1200X2 de 1800 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 195 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	32.070,6 € (0,24 €/kWh)

Tabla 24. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 6.

## 7.7 CASO 7. CONSUMO MEDIO AC

En este caso se ha elevado el consumo a 43,73 kWh/día, por lo tanto se redimensionarán los componentes del sistema y se seguirá el mismo procedimiento que en el CASO 1.

- **Paneles fotovoltaicos**

En primer lugar, volvemos a calcular la energía diaria que puede entregarnos cada panel ( $E_P$ ). Por simplificar, se han seleccionado los mismos que para el resto de casos.

$$E_P = P_{MPP} \cdot HPS_{CRI} \cdot PR = 100 \cdot 2,91 \cdot 0,6 = 174,6 \text{ Wh/día}$$

Por lo tanto el número total de paneles será:

$$P_T = \frac{E_{TCRI}}{E_P} = \frac{43730}{174,6} \approx 250 \text{ paneles}$$

Ahora se calculará el número de paneles en serie y paralelo.

$$P_S = \frac{V_{BAT}}{V_{MPP}} = \frac{48}{12} = 4 \text{ paneles}$$

$$Q_{Ah} = \frac{E_{TCRI}}{V_{BAT}} = \frac{43730}{48} = 911 \text{ Ah/día} \quad I_{FV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{CRI}} = \frac{911}{2,91} = 313 \text{ A}$$



$$P_P = \frac{I_{FV,MPP}}{I_{CC}} = \frac{313}{6,79} \approx 47 \text{ paneles}$$

Los paneles fotovoltaicos seleccionados serán los siguientes:

Nombre	Tensión nominal	Intensidad de cortocircuito	Potencia nominal	Coste adquisición	Vida esperada
aSi12-Schott: ASI100	12 V	6,79 A	100 W	110 €	25 años

**Tabla 25.** Características paneles fotovoltaicos. Caso 7.

- **Inversor**

$$P_{INV} = 1,2 \cdot S_M = 1,2 \cdot 1822 \cdot 3 = 6559,2 \text{ VA}$$

El inversor que elegiremos para este caso será:

Nombre	Potencia	Eficiencia de carga	VDC máxima	Coste adquisición	Vida esperada
SMA: S. Island 8.0H	6000 VA	98 %	64 V	4200 €	10 años

**Tabla 26.** Características inversor. Caso 7.

- **Regulador**

$$I_R = 1,25 \cdot I_{CC} \cdot P_P = 1,25 \cdot 6,79 \cdot 47 = 398,9 \text{ A}$$

Utilizaremos un regulador genérico de corriente superior a la calculada.

- **Baterías**

$$C_d = \frac{E_{TCRI} \cdot D_A}{P_D \cdot F_{CT} \cdot V_{BAT}} = \frac{43730 \cdot 4}{0,8 \cdot 1 \cdot 48} = 4555 \text{ Ah}$$

Las baterías que simularemos serán las siguientes:

Nombre	Tipo	Capacidad nominal	V nominal	Coste adquisición	Eficiencia	€/kWh	Número ciclos equivalentes
LG Chem: RESU10	Litio	189 Ah	48 V	6800 €	95%	749,6	2879,9



OPZS-FIAMM:L M490	Plomo	546 Ah	2 V	216 €	85%	197,8	1018,7
OPzV-Hoppeck e:620	plomo	505 Ah	2 V	301 €	85%	298	1174,4

Tabla 27. Características baterías de litio y plomo. Caso 7.

## Resultados

1. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 11p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 57p. (inc. 65º)
Inversor	S. Island 8.0H de 6000 VA
Regulador	PV bat. Genérico de 504 A
E no servida	0%
Generador	-
<b>Coste total (VAN)</b>	<b>219.406,4 € (0,55 €/kWh)</b>

Tabla 28. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 7.

2. Baterías de litio: **LG Chem: RESU10 (189 Ah): 1s. x 25p.**

Paneles	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 55p. (inc. 65º)
Inversor	SMA: S. Island 8.0H de 6000 VA
Regulador	PV bat. Genérico de 486 A
E no servida	0,1%
Generador	-
<b>Coste total (VAN)</b>	<b>318.187,8 € (0,8 €/kWh)</b>

Tabla 29. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 7.

Como se puede observar, ahora la diferencia entre los costes del sistema con baterías de plomo y el de litio, es muy grande. Si nos fijamos en el número de baterías de litio para poder obtener una autonomía de 4 días, necesitaremos 1 en serie y 25 en paralelo. Esto se debe a que la capacidad de la batería es pequeña (189 Ah) en comparación con los kWh que requiere el sistema.

En el caso de las de plomo se necesitará 24 en serie por 11 en paralelo. Bastantes más que las de litio, pero mucho más baratas. Para poder reducir los costes y encontrar baterías que pudieran competir con las de plomo, se deberían de utilizar baterías de mayor capacidad.

## 7.8 CASO 8. CONSUMO MEDIO AC CON GENERADOR DIÉSEL

Nombre	Potencia nominal	potencia mínima	Coste combustible	Coste adquisición	Vida esperada
Diésel 1.9kVA	1,9 kVA	30% (Pn)	1,3 €/l	800 €	10000 horas

Tabla 30. Características generador diésel. Caso 8.

El generador diésel se activará cuando las baterías no puedan cubrir el consumo del sistema.

## Resultados

1. Baterías de plomo: **OPZS-FIAMM: LM490 (546 Ah): 24s. x 1p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 55p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	S. Island 8.0H de 6000 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 486 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	2 x Gen. AC Diesel 1.9kVA pot. nom. 1,9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	80.324 € (0,2 €/kWh)

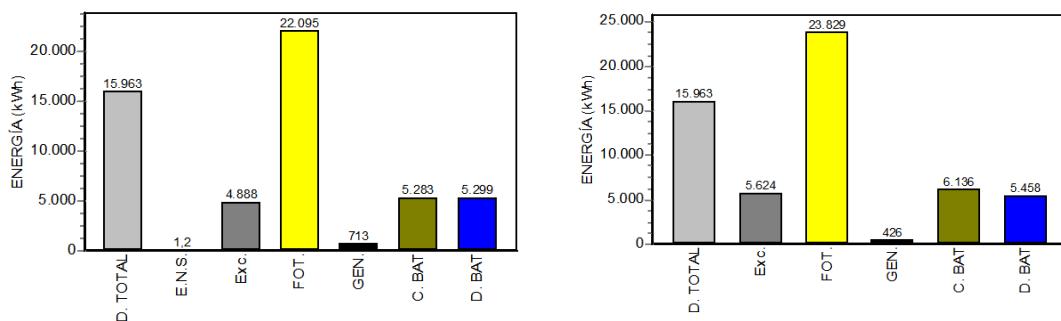
Tabla 31. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 8.

2. Baterías de litio: **LG Chem: RESU10 (189 Ah): 1s. x 2p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 51p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	SMA: S. Island 8.0H de 6000 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 451 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9kVA pot. nom. 1,9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	88.533,3 € (0,22 €/kWh)

Tabla 32. Resultado óptimo con baterías de litio. Caso 8.

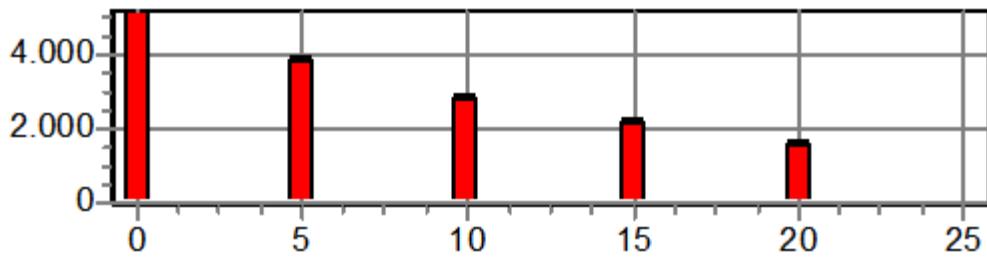
En este caso, con el generador diésel, el sistema óptimo sigue siendo con baterías de plomo aunque la diferencia entre ambas se ha reducido considerablemente. Si comparamos ambos resultados, se puede ver que con las de plomo se necesitarán más paneles, más baterías y más generadores.



**Figura 12.** Balance de energías del sistema para baterías de litio y plomo a lo largo de un año.

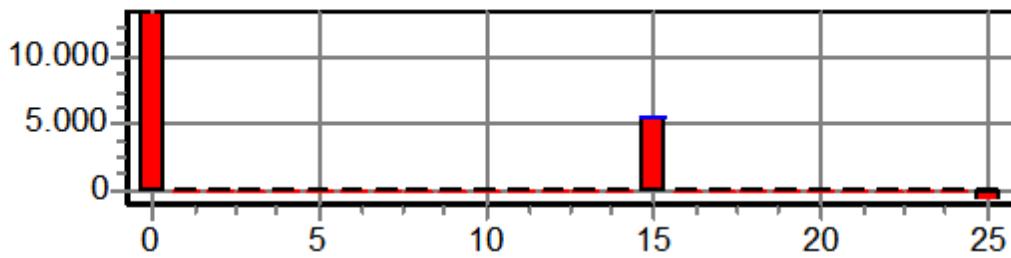
Si comparamos el balance de energía de ambos sistemas, observamos que para las baterías de litio se necesita más energía del generador diésel que se traducirá en un mayor coste.

Coste total Banco Baterías (VAN): 17575,4 €



**Figura 13.** Coste de las baterías de plomo. Caso 8.

Coste total Banco Baterías (VAN): 20308,7 €



**Figura 14.** Coste de las baterías de litio. Caso 8.

Por otra parte, a pesar de utilizar menos baterías de litio que de plomo como en los casos anteriores, observamos que por el precio de las baterías, el coste del sistema de las baterías de litio será superior.

Por último, vamos a añadir baterías de plomo de menor capacidad y mayor tensión nominal.

## Resultados

**1. Baterías de plomo: Rolls12V: T12 250 (170 Ah): 4s. x 4p.**

<b>Paneles</b>	PV aSi12-Schott: ASI100 (100 W) 4s. x 62p. (inc. 65º)
<b>Inversor</b>	SMA: S. Island 8.0H de 6000 VA
<b>Regulador</b>	PV bat. Genérico de 548 A
<b>E no servida</b>	0%
<b>Generador</b>	1 x Gen. AC Diesel 1.9 kVA
<b>Coste total (VAN)</b>	90.114,5 € (0,19 €/kWh)

Tabla 33. Resultado óptimo con baterías de plomo. Caso 8.

## 8. COMPARACIÓN CASOS DE ESTUDIO

Una vez concluidas todas las simulaciones, se va a realizar una comparativa entre los resultados de todos los casos, para diferentes parámetros como la capacidad del banco de las baterías, el coste total (VAN), el coste de energía suministrada o la vida estimada de las baterías.

Como se puede observar en las figuras representadas, tanto el coste total (VAN) como el coste de la energía suministrada (ANEXO II), ambos para baterías de plomo, son siempre inferiores en todos los casos en comparación con los costes derivados de las baterías de litio.

Por otra parte, la capacidad del banco de baterías será mayor para sistemas con consumos más elevados y menor para los casos con generador diésel.

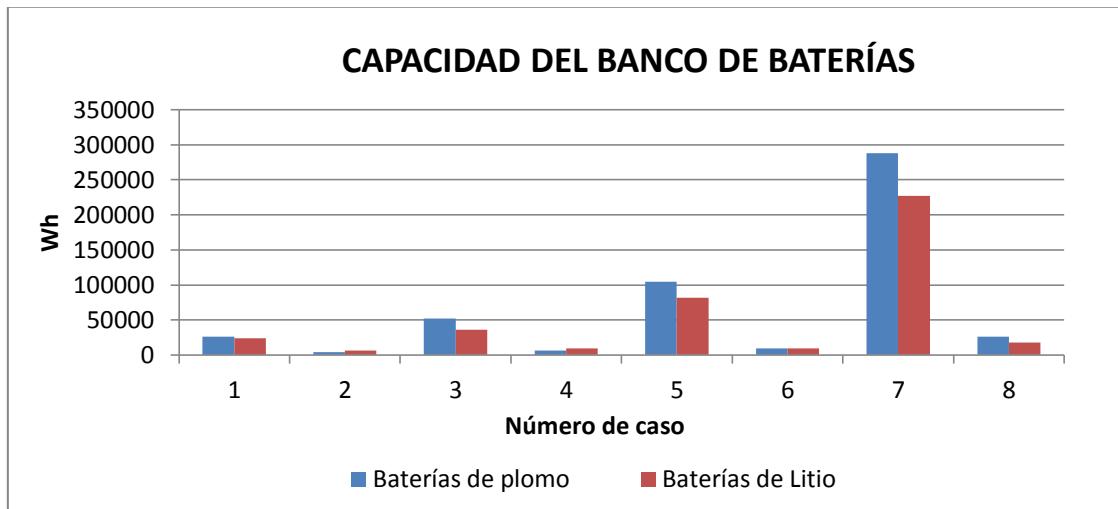
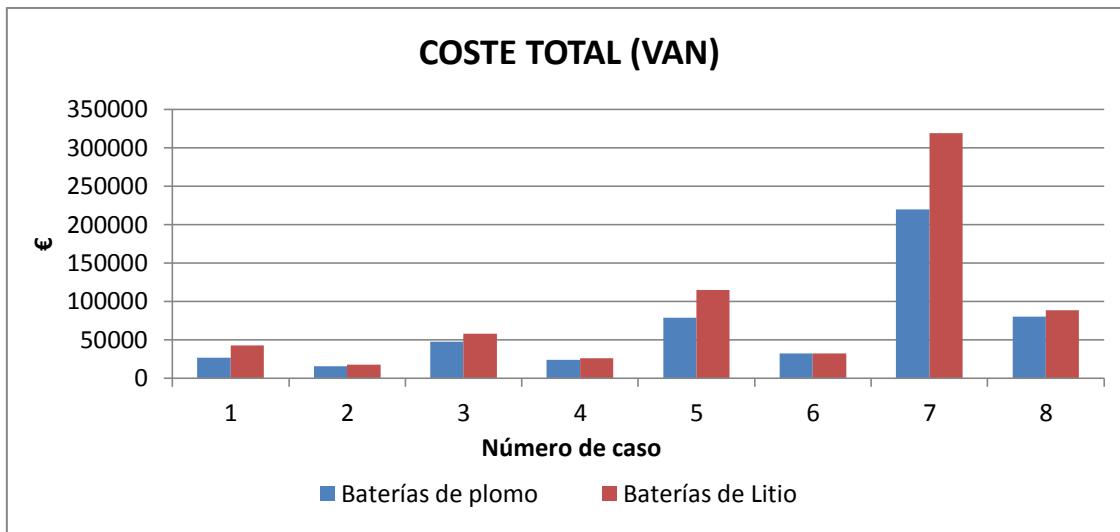
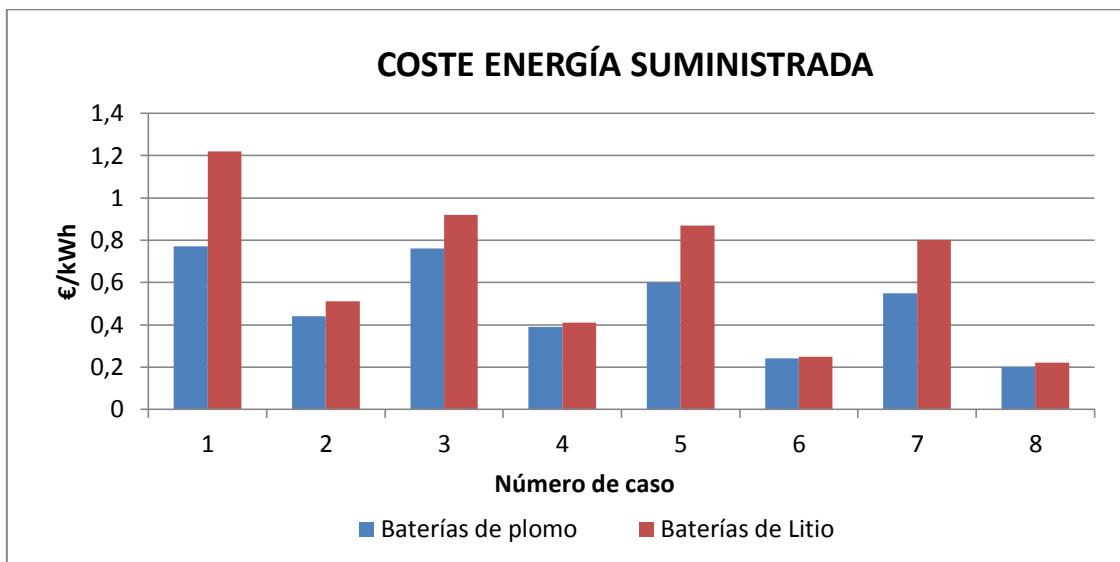


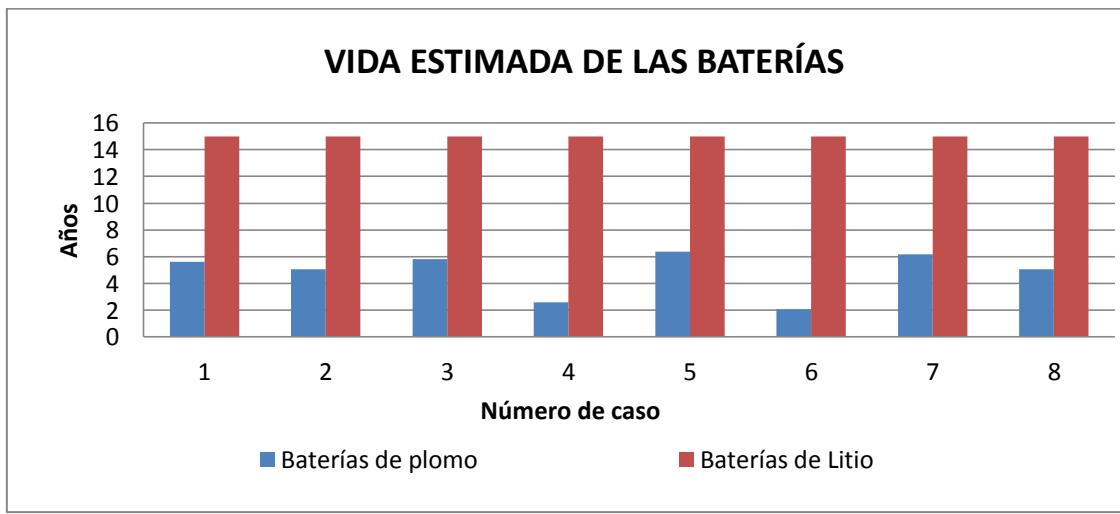
Figura 15. Comparación capacidad del banco de baterías.



**Figura 16.** Comparación coste total (VAN).



**Figura 17.** Comparación coste energía suministrada.



**Figura 18.** Comparación vida estimada de las baterías.

## 9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez obtenidos los resultados para los diferentes casos, se puede observar que el parámetro más significativo es la diferencia de precios entre las baterías de plomo y de litio. En este apartado, se va a realizar un análisis de sensibilidad económica, para comprobar que ocurriría si se redujese el precio de las baterías de litio.

Por tanto, se van a volver a simular todos los casos y se irá reduciendo el precio de las baterías de litio un 20, 40 y 60 % hasta que resulte inferior a las de plomo. Por último se resumirán los resultados en gráficas.

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE INFLACIÓN DE LOS COSTES DE ALGUNOS COMPONENTES

Pr.1: Caso base (valores en tablas de componentes) (factor escala x1)

Pr.2: Coste Paneles fotovoltaicos: x 0 (factor escala); Coste Aerogeneradores: x 0 Coste Baterías: x 0,8 Coste componentes H2: x 0

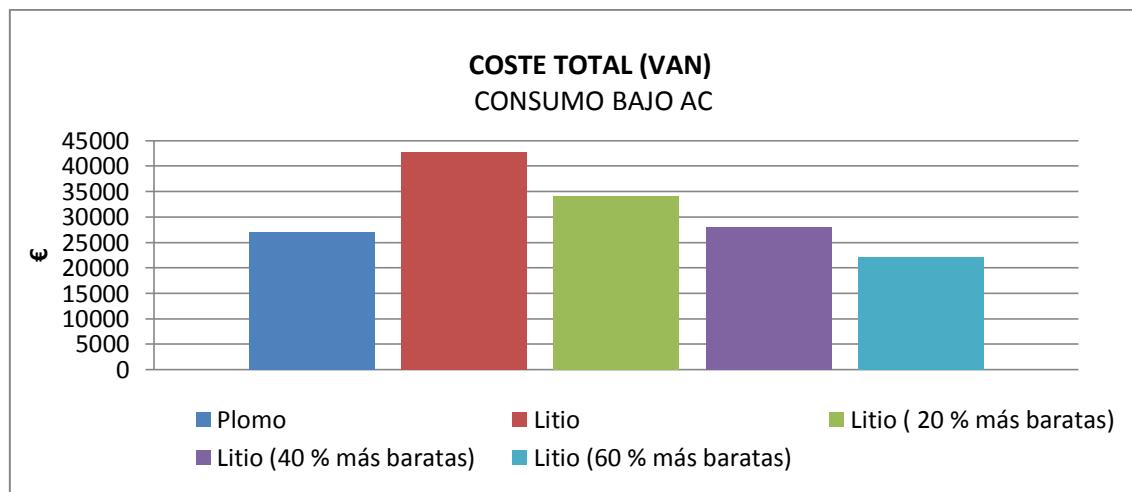
Pr.3: Coste Paneles fotovoltaicos: x 0 (factor escala); Coste Aerogeneradores: x 0 Coste Baterías: x 0,6 Coste componentes H2: x 0

Pr.4: Coste Paneles fotovoltaicos: x 0 (factor escala); Coste Aerogeneradores: x 0 Coste Baterías: x 0,4 Coste componentes H2: x 0

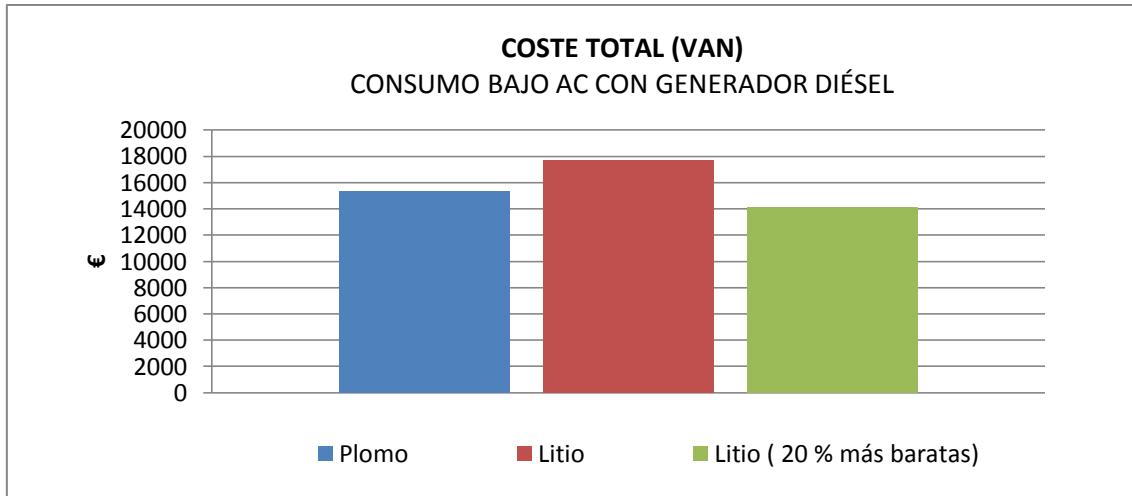
**Figura 19.** Ventana de análisis de sensibilidad del software IHOGA.

## Resultados

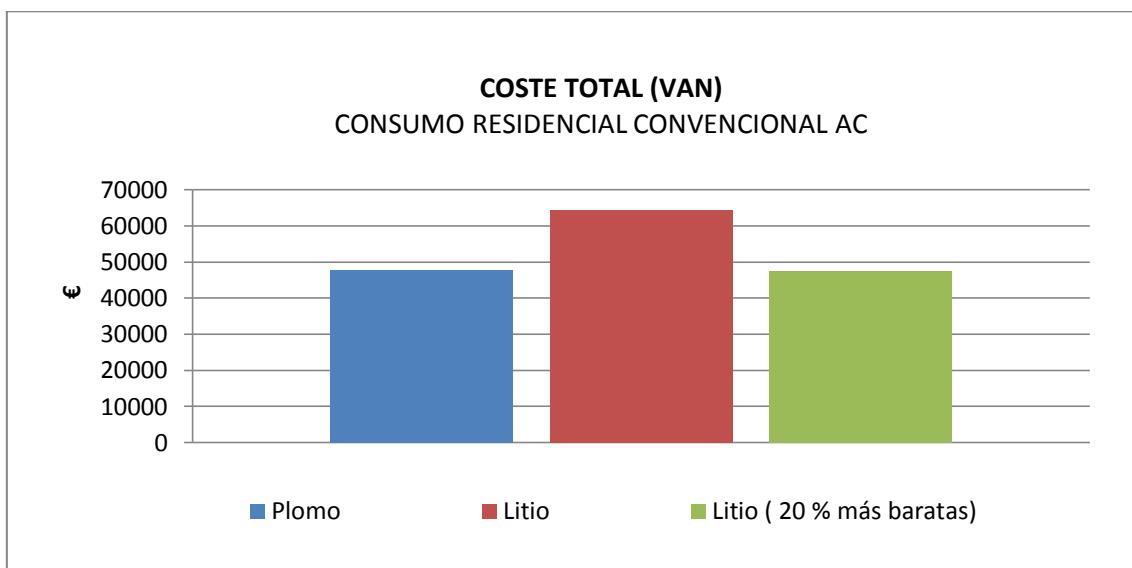
Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras y en el ANEXO II.



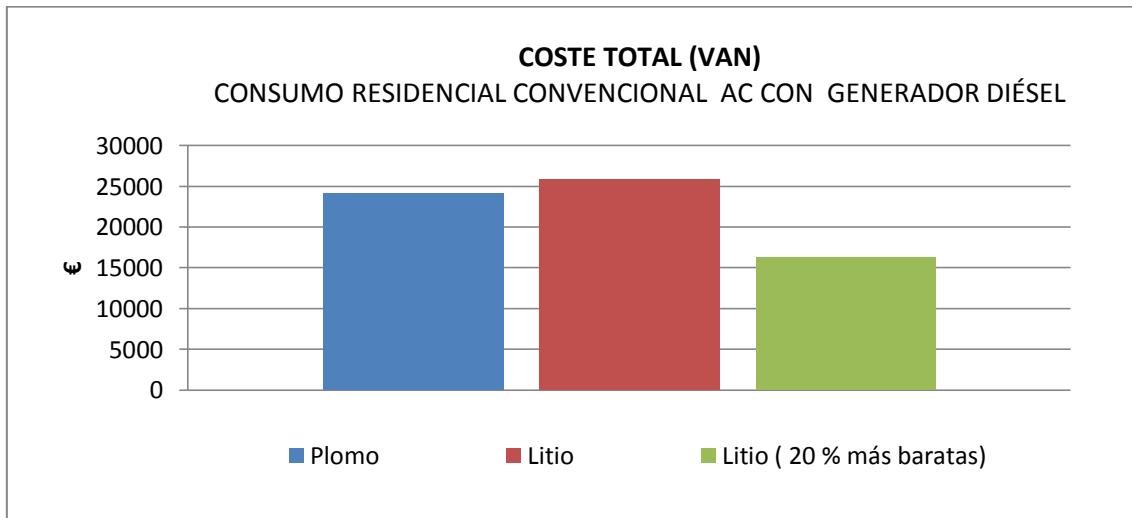
**Figura 20.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 1.



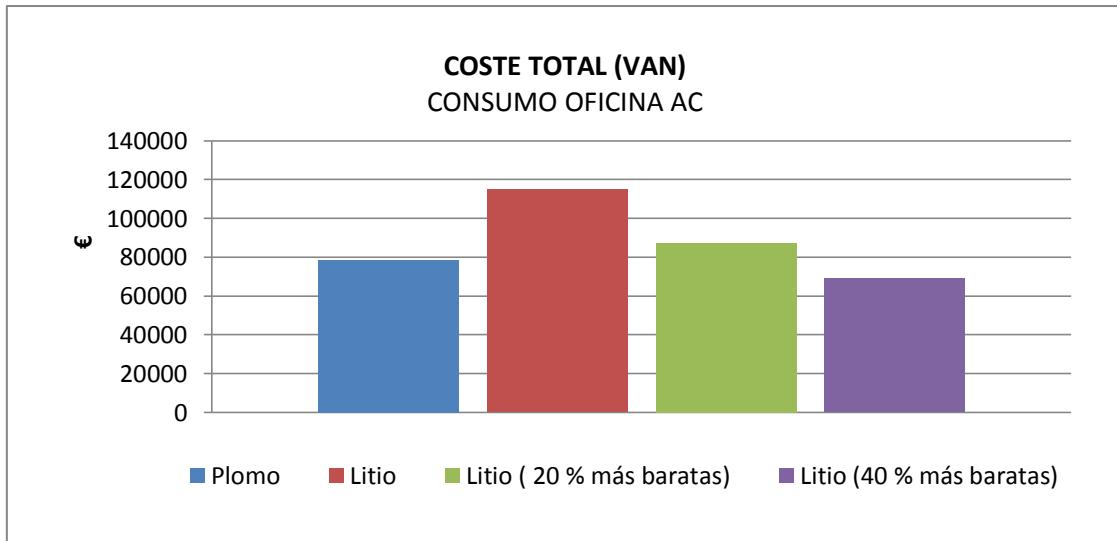
**Figura 21.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 2.



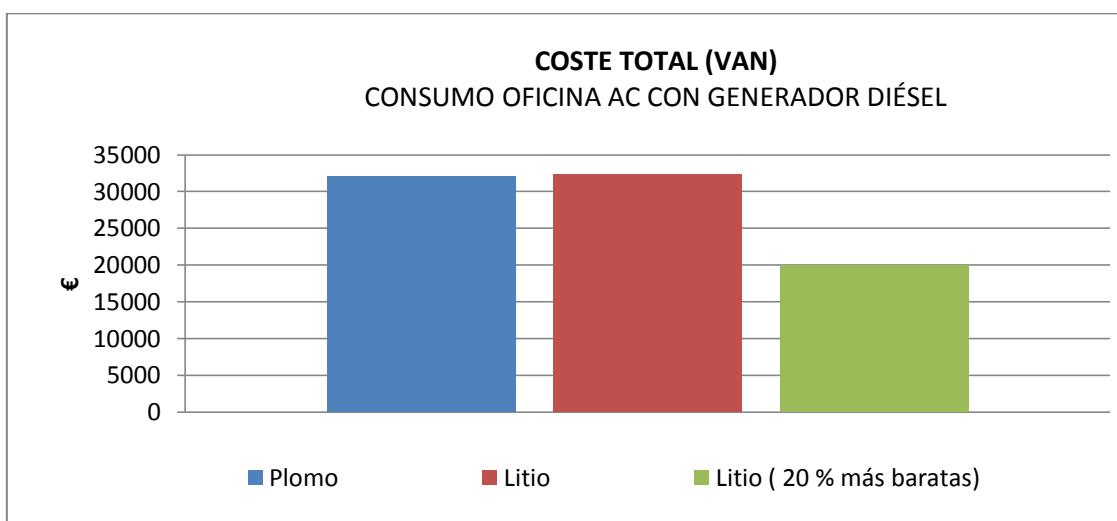
**Figura 22.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 3.



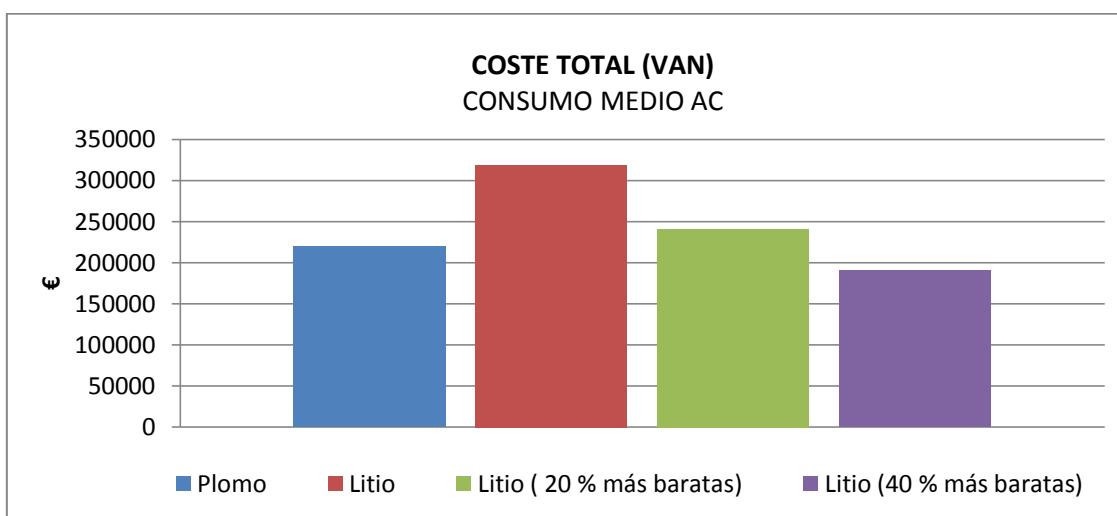
**Figura 23.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 4.



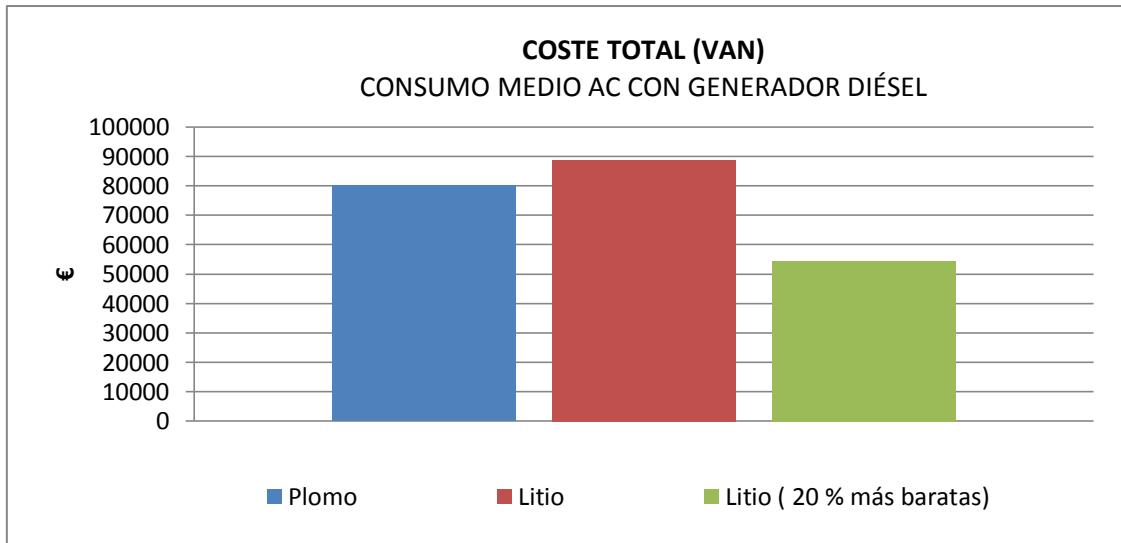
**Figura 24.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 5.



**Figura 25.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 6.



**Figura 26.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 7.



**Figura 27.** Comparación coste total (VAN) entre diferentes baterías. Caso 8.

## 10. CONCLUSIONES

Tras haber realizado las simulaciones de los ocho casos propuestos junto con el análisis de sensibilidad, podemos obtener varias conclusiones.

En primer lugar, con los precios actuales, en todos los casos simulados y con las baterías utilizadas, el sistema óptimo siempre está compuesto por baterías de plomo. Si bien es cierto, que en los casos que se utilizaba un generador diésel, en un primer momento la solución óptima era con baterías de litio, al colocar baterías de plomo de menor capacidad y tensión nominal mayor, el coste total (VAN) del sistema formado por estas baterías, volvía a ser inferior que el de las de litio.

Por otra parte, observando los costes para los diferentes casos, se puede ver que la principal diferencia entre los sistemas con baterías de plomo y los de litio, es debido al precio de las baterías. El elevado precio de las baterías de litio, eleva el coste total (VAN) por encima de las de plomo, a pesar de que la vida estimada para las baterías de litio es siempre mayor.

Por último, en el análisis de sensibilidad se puede observar que para los casos que no cuentan con un generador diésel de reserva, el precio de las baterías de litio debería bajar un 20 % en el CASO 3 (674,6 €/kWh), un 40 % (505,95 €/kWh) para los casos 5 y 7 y un 60 % (337,3 €/kWh) para el CASO 1, para poder competir con las de plomo. En los casos que el sistema cuenta con un generador diésel solo será necesario reducir el precio de las baterías de litio en un 20 % (674,6 €/kWh).

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Dufo López, "iHOGA Manual del Usuario 2.3," Universidad de Zaragoza.
- [2] "Ecured." [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Energía\\_renovable](https://www.ecured.cu/Energía_renovable).
- [3] W. Jara Tirapegui, "Introducción a las Energías Renovables no convencionales."
- [4] "Energías Renovables." [Online]. Available: [http://roble.pntic.mec.es/jprp0006/tecnologia/1eso\\_recursos/unidad11\\_energia\\_y\\_transformacion/teoria/teoria2.htm](http://roble.pntic.mec.es/jprp0006/tecnologia/1eso_recursos/unidad11_energia_y_transformacion/teoria/teoria2.htm).
- [5] "Acciona. Energía Solar." [Online]. Available: <https://www.accionia.com/es/energias-renovables/energia-solar/>.
- [6] M. A. Rodríguez-Meza and J. L. Cervantes-Cota, "El efecto fotoeléctrico," *Cienc. Ergo Sum 2006*.
- [7] SunFields, "Equipos para fotovoltaica aislada." [Online]. Available: <https://www.sfe-solar.com/fotovoltaica-aislada/>.
- [8] T. Díaz Corcobado and G. Carmona Rubio, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. GM, McGraw-Hil. .
- [9] "Los paneles solares fotovoltaicos." [Online]. Available: <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>.
- [10] M. Alonso Abella, "Sistemas fotovoltaicos," Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- [11] M. Horn, "Sistemas Fotovoltaicos," Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Ingeniería Castilla.
- [12] "Guía Técnica sobre manejo de baterías de plomo-ácido," Ministerio de Medio Ambiente de Chile.
- [13] "Baterías para almacenar energía." [Online]. Available: <http://deltavolt.pe/energia-renewable/baterias>.
- [14] "Baterías AGM." [Online]. Available: [http://www.fondear.org/infonautic/Equipo\\_y\\_Usos/Electricidad\\_Energia/Baterias\\_AGM/Baterias\\_Absorbent-Glass-Mat.asp](http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electricidad_Energia/Baterias_AGM/Baterias_Absorbent-Glass-Mat.asp).
- [15] G. L. Larraz Nogués, "Estudio de electrolitos sólidos para baterías de litio basados en Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub> y LiZr<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>," Universidad de Zaragoza.
- [16] "Baterías de litio para autoconsumo." [Online]. Available: <http://www.solarmat.es/blog/baterias-de-litio-para-autoconsumo/>.
- [17] D. Oliver Blasco, "Diseño, Fabricación y validación de un acumulador de celdas de litio para una motocicleta de competición," Universidad Carlos I.
- [18] SunFields, "Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas."
- [19] R. K. J. Schiffer, D.U. Sauer, H. Bindner, T. Cronin, P. Lundsager, "Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems."
- [20] S. K. K. J. Groot, M. Swierczynski, A.I. Stan, "On the complex ageing characteristics of high-power LiFePO<sub>4</sub>/graphite battery cells cycled with high charge and discharge currents."

## 12. ANEXOS

### 12.1 ANEXO I

#### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demanda: 1398 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 897 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 2604 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 864 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 765 kWh/año

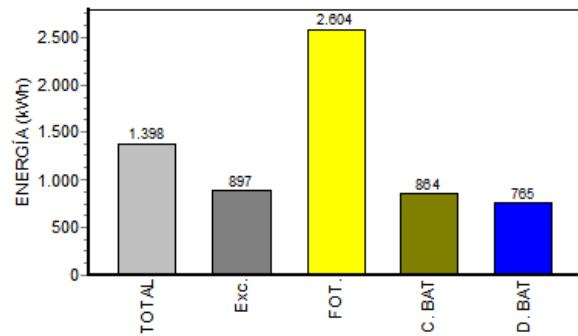
Vida de las baterías: 5,63 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

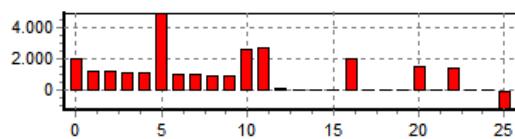
Emisiones totales de CO2 : 332 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,5191. Empleos creados durante vida sistema: 0,0072

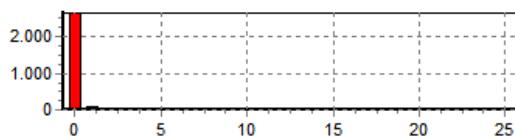


**Figura 28.** Balance anual de energía del sistema. Caso 1 baterías de plomo.

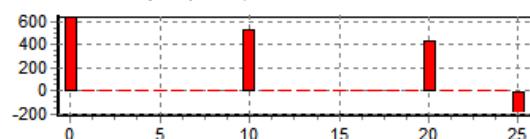
COSTE TOTAL (VAN): 26929,5 €



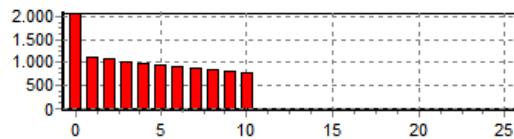
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 3942,3 €



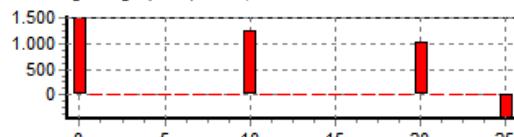
Coste total Inversor (VAN): 1426,1 €



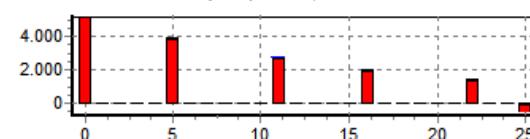
Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 11770,6 €



Coste total Reg. Carga (VAN): 3290,9 €



Coste total Banco Baterías (VAN): 16473,5 €



**Figura 29.** Costes del sistema. Caso 1 baterías de plomo.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 1398 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 576 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 2170 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 769 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 784 kWh/año

Vida de las baterías: 15 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO<sub>2</sub> : 152 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO<sub>2</sub>/año

H2 vendido anual : 0 kg H<sub>2</sub>/año // IDH: 0,5191. Empleos creados durante vida sistema: 0,006

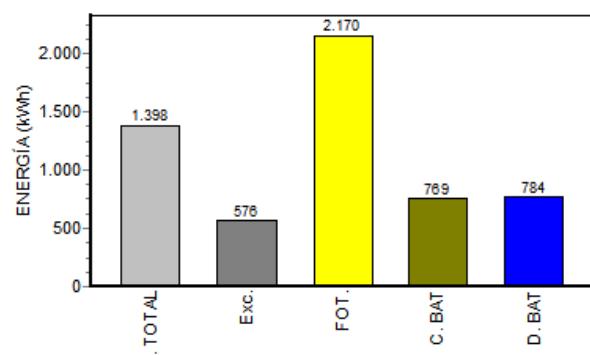
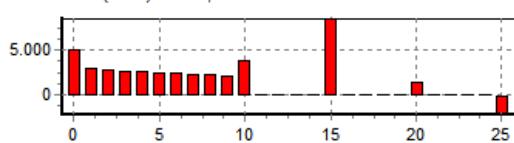
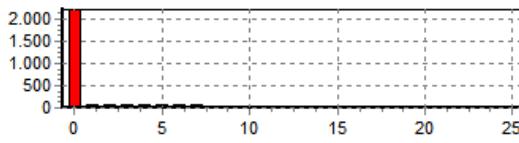


Figura 30. Balance anual de energía del sistema. Caso 1 baterías de litio.

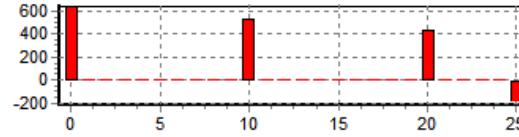
COSTE TOTAL (VAN): 42652,8 €



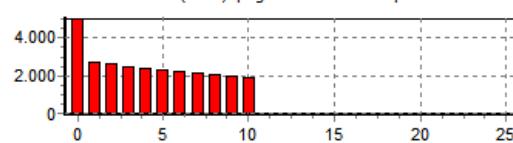
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 3416 €



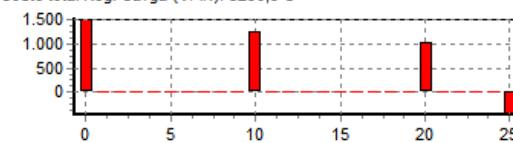
Coste total Inversor (VAN): 1426,1 €



Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 28708,7 €



Coste total Reg. Carga (VAN): 3290,9 €



Coste total Banco Baterías (VAN): 30561,1 €

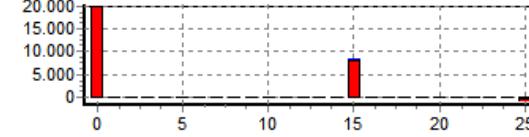


Figura 31. Costes del sistema. Caso 1 baterías de litio.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 1398 kWh/año. Cubierta por ren.99%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 916 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 2604 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 13 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 32,27 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 855 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 762 kWh/año

Vida de las baterías: 5,08 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO<sub>2</sub> : 143 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 7 litro/año): 24 kg CO<sub>2</sub>/año

H2 vendido anual : 0 kg H<sub>2</sub>/año // IDH: 0,5191. Empleos creados durante vida sistema: 0,0072

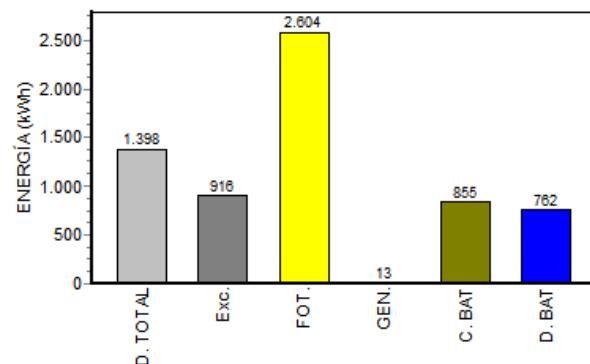
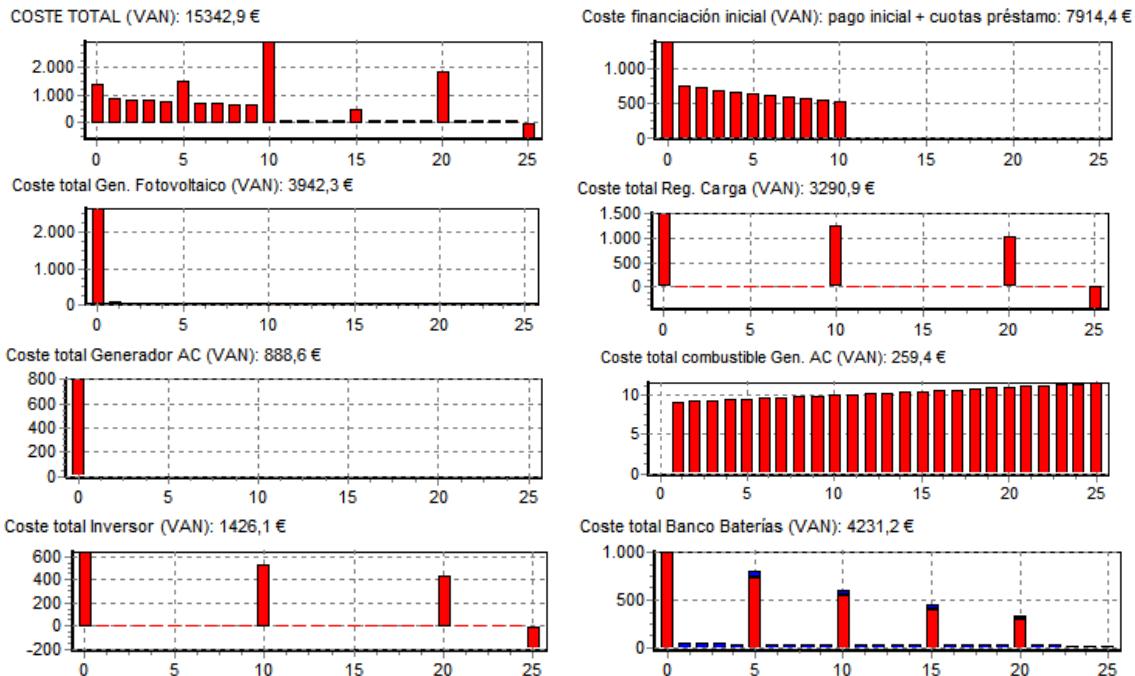


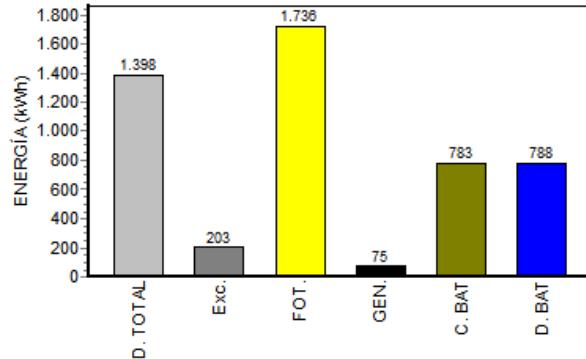
Figura 32. Balance anual de energía del sistema. Caso 2 baterías de plomo.



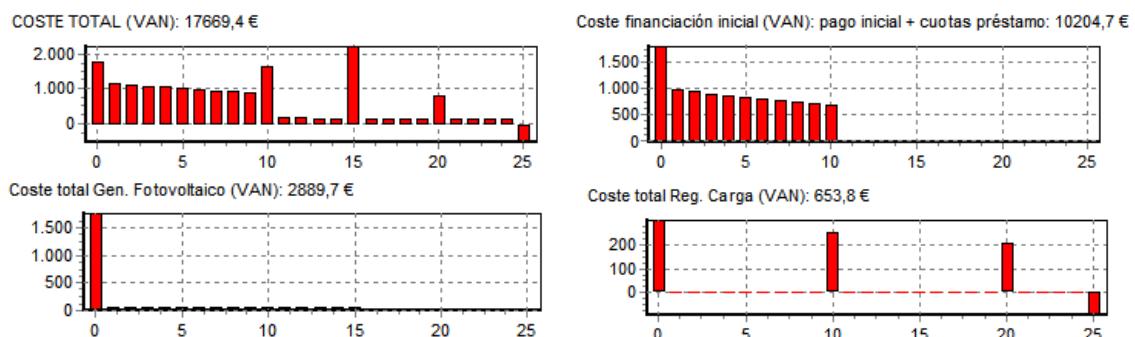
**Figura 33. Costes del sistema. Caso 2 baterías de plomo.**

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demanda: 1398 kWh/año. Cubierta por ren.94,6%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 203 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 1736 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 75 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 178,75 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 788 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 788 kWh/año  
 Vida de las baterías: 15 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO<sub>2</sub>: 216 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 38,9 litro/año): 136 kg CO<sub>2</sub>/año  
 H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,5191. Empleos creados durante vida sistema: 0,0048



**Figura 34. Balance anual de energía del sistema. Caso 2 baterías de litio.**



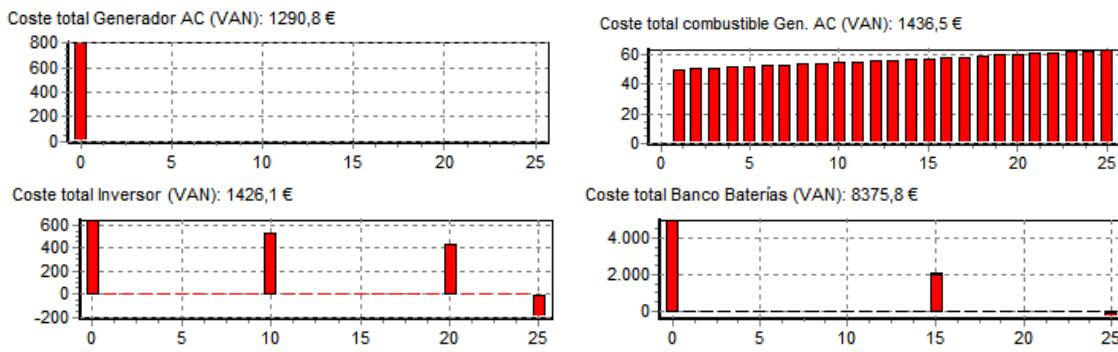


Figura 35. Costes del sistema. Caso 2 baterías de litio.

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demanda: 2512 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 2214 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 5210 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1664 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1477 kWh/año

Vida de las baterías: 5,83 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissions totales de CO2 : 647 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,5764. Empleos creados durante vida sistema: 0,0144

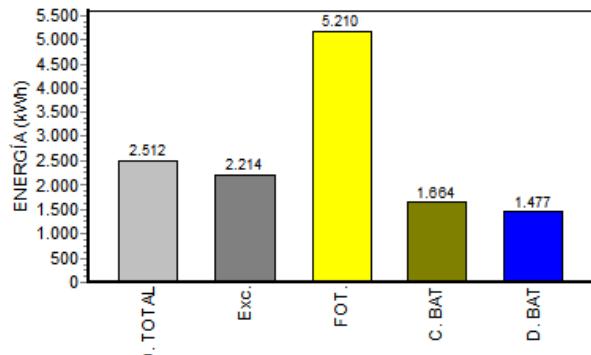
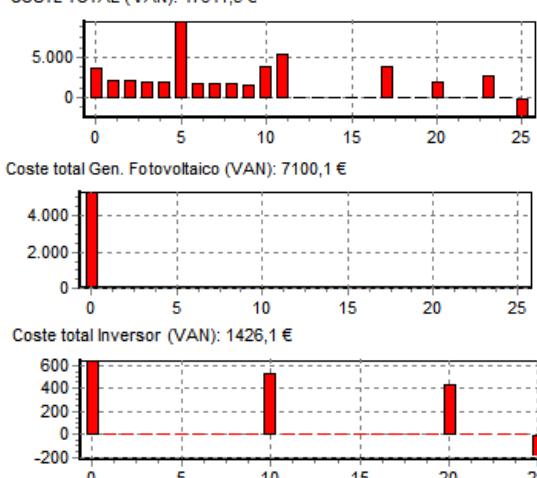


Figura 36. Balance anual de energía del sistema. Caso 3 baterías de plomo.

**COSTE TOTAL (VAN): 47641,5 €**



**Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 21559,1 €**

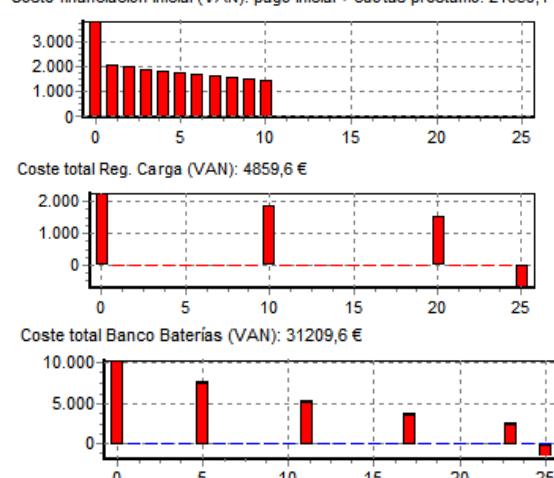


Figura 37. Costes del sistema. Caso 3 baterías de plomo.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2512 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 1993 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 4776 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1462 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1489 kWh/año

Vida de las baterías: 15 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissions totales de CO2 : 273 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,5764. Empleos creados durante vida sistema: 0,0132

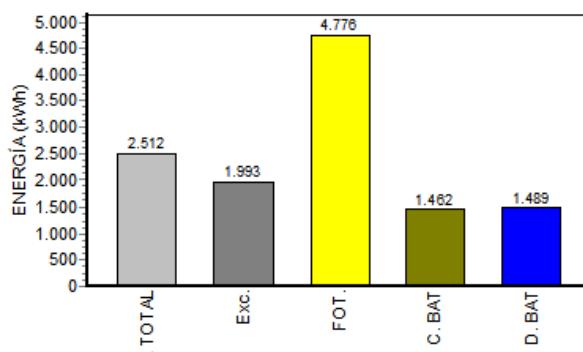
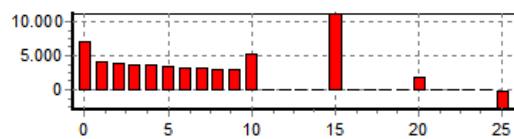
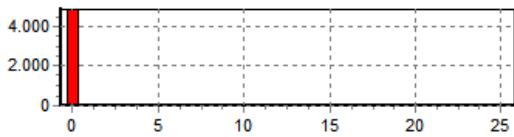


Figura 38. Balance anual de energía del sistema. Caso 3 baterías de litio.

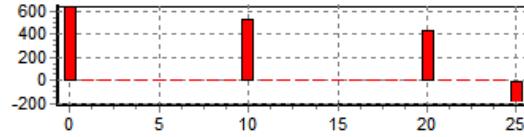
COSTE TOTAL (VAN): 57940,8 €



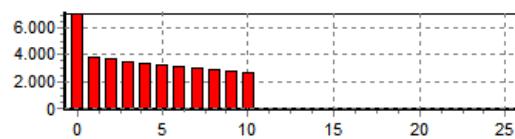
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 6573,8 €



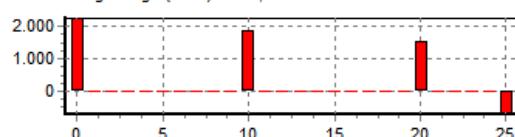
Coste total Inversor (VAN): 1426,1 €



Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 40349,6 €



Coste total Reg. Carga (VAN): 4859,6 €



Coste total Banco Baterías (VAN): 39636,7 €

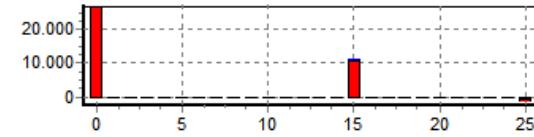


Figura 39. Costes del sistema. Caso 3 baterías de litio.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2512 kWh/año. Cubierta por ren.99,9%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 4426 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 7381 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 1 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 3,15 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1583 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1437 kWh/año

Vida de las baterías: 2,61 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissions totales de CO2 : 416 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0,7 litro/año): 2 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,5764. Empleos creados durante vida sistema: 0,0204

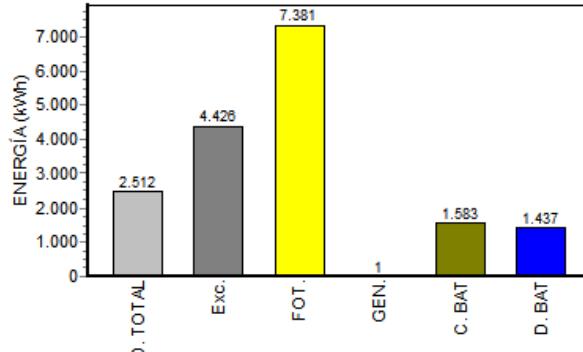
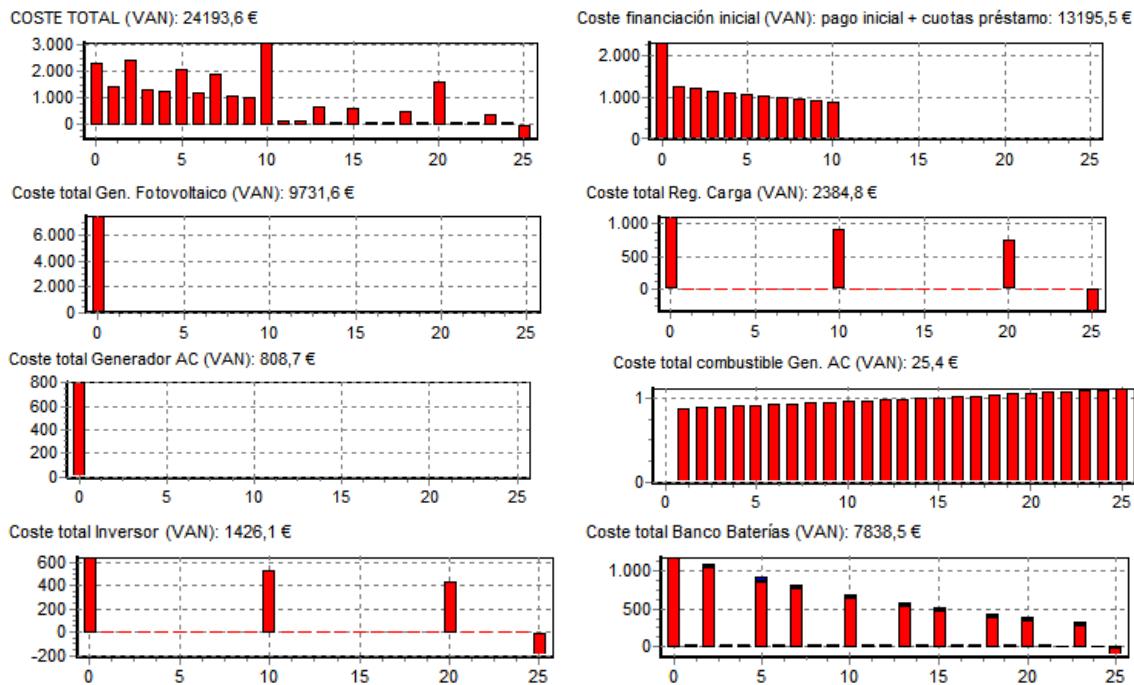


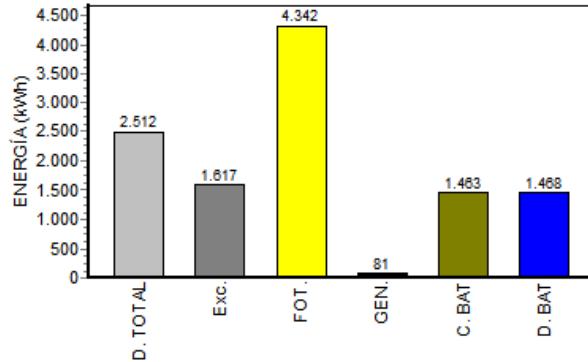
Figura 40. Balance anual de energía del sistema. Caso 4 baterías de plomo.



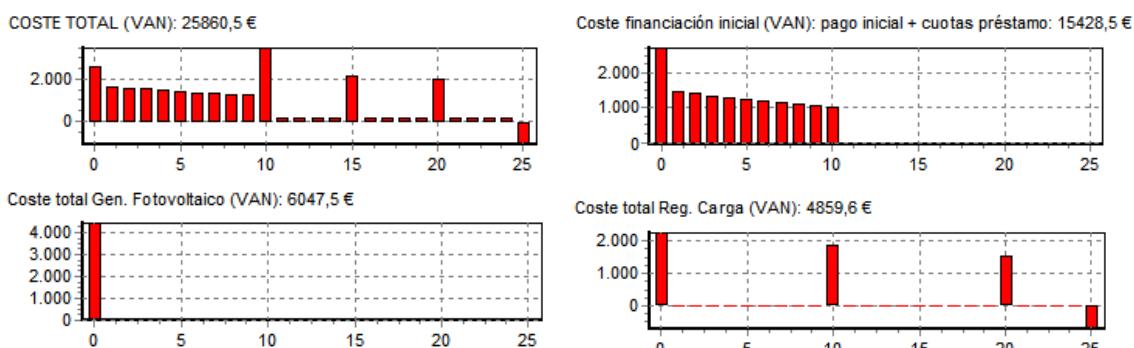
**Figura 41. Costes del sistema. Caso 4 baterías de plomo.**

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 2512 kWh/año. Cubierta por ren.96,8%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 1617 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 4342 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 81 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 193,64 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 1463 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 1468 kWh/año  
 Vida de las baterías: 15 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO2 : 305 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 42,2 litro/año): 147 kg CO2/año  
 H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,5764. Empleos creados durante vida sistema: 0,012



**Figura 42. Balance anual de energía del sistema. Caso 4 baterías de litio.**



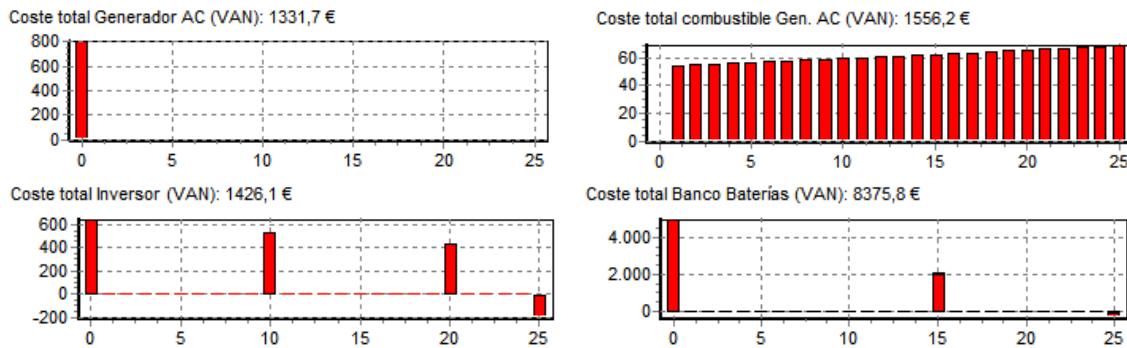


Figura 43. Costes del sistema. Caso 4 baterías de litio.

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 5271 kWh/año. Cubierta por ren.100%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 2224 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 8683 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 2116 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 1882 kWh/año  
 Vida de las baterías: 6,36 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO<sub>2</sub>: 1162 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO<sub>2</sub>/año  
 H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6489. Empleos creados durante vida sistema: 0,024

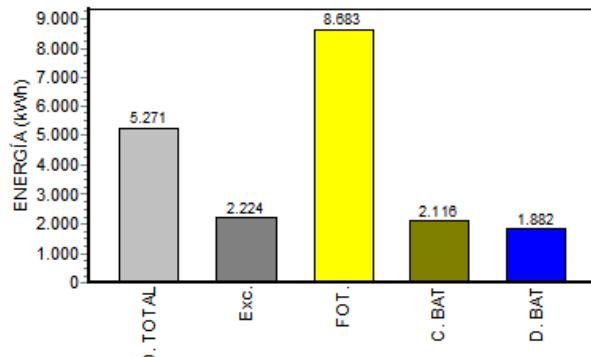


Figura 44. Balance anual de energía del sistema. Caso 5 baterías de plomo.

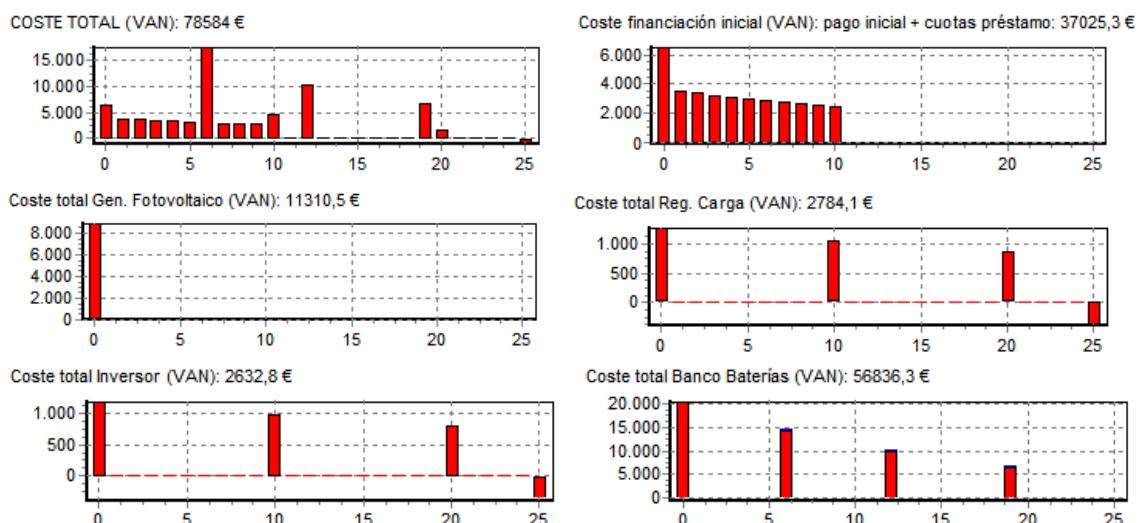


Figura 45. Costes del sistema. Caso 5 baterías de plomo.

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 5271 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 2093 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 8249 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1853 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1922 kWh/año

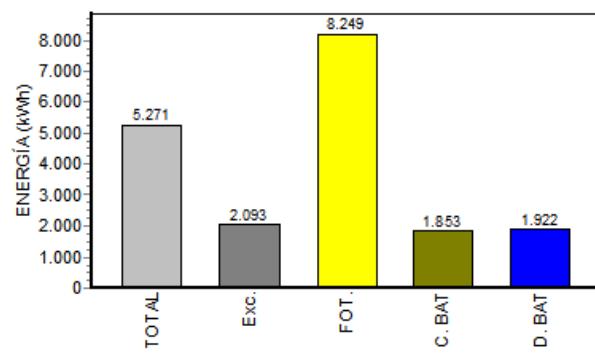
Vida de las baterías: 15 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

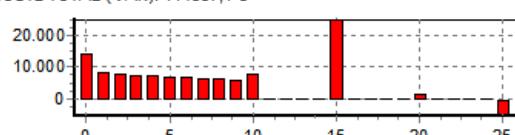
Emissions totales de CO2 : 542 kg CO2/año; Emissions solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,6489. Empleos creados durante vida sistema: 0,0228

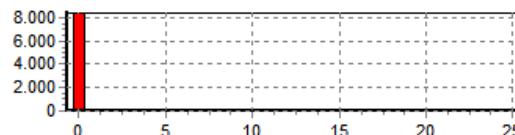


**Figura 46.** Balance anual de energía del sistema. Caso 5 baterías de litio.

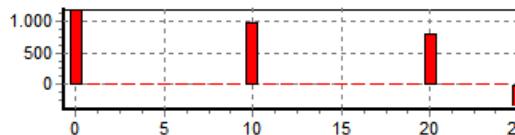
COSTE TOTAL (VAN): 114887,1 €



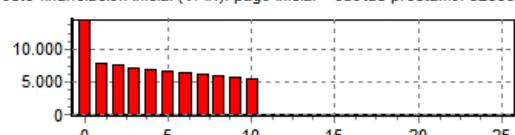
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 10784,2 €



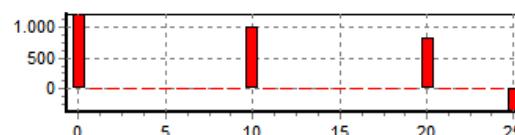
Coste total Inversor (VAN): 2632,8 €



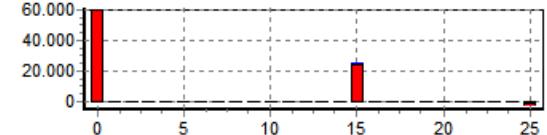
Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 82833,5 €



Coste total Reg. Carga (VAN): 2645,9 €



Coste total Banco Baterías (VAN): 87956,6 €



**Figura 47.** Costes del sistema. Caso 5 baterías de litio.

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 5271 kWh/año. Cubierta por ren.98,8%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 3212 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 9551 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 61 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 121,24 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1946 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1768 kWh/año

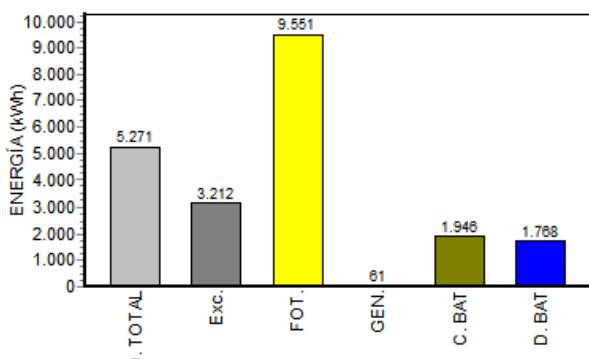
Vida de las baterías: 2,08 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

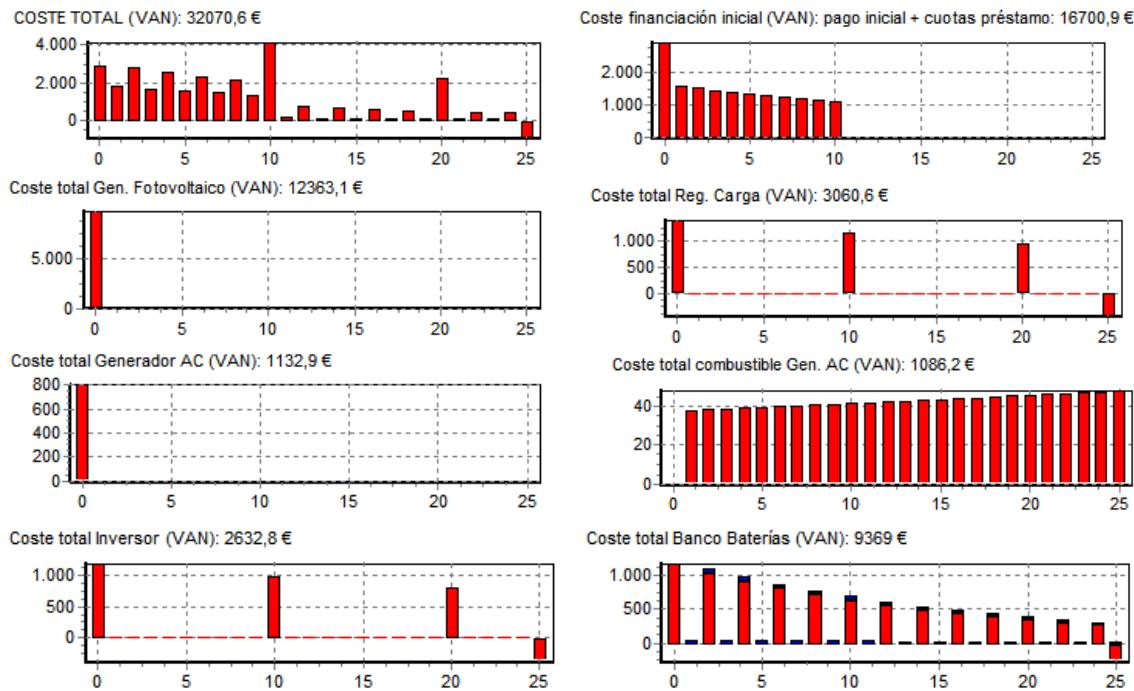
E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissions totales de CO2 : 635 kg CO2/año; Emissions solo del generador AC(debidas al consumo de 29,4 litro/año): 103 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,6489. Empleos creados durante vida sistema: 0,0264



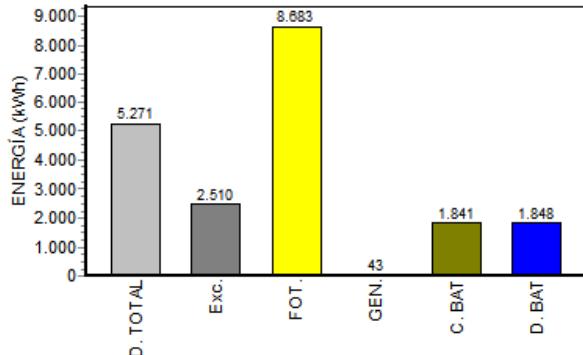
**Figura 48.** Balance anual de energía del sistema. Caso 6 baterías de plomo.



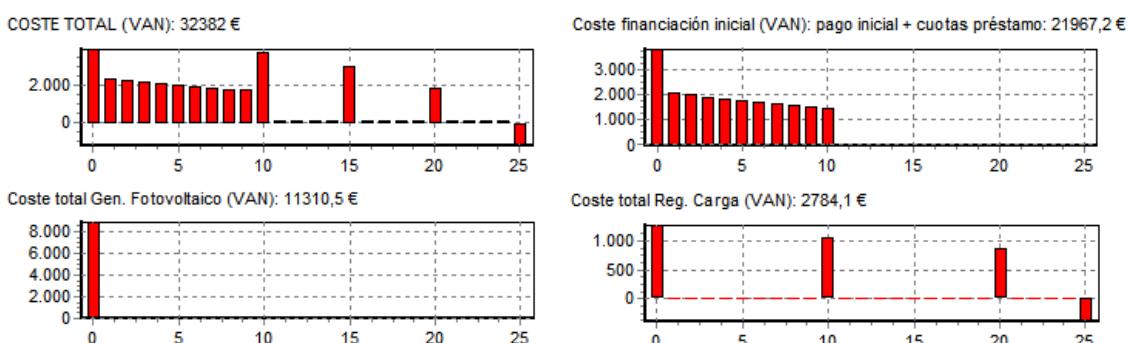
**Figura 49. Costes del sistema. Caso 6 baterías de plomo.**

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 5271 kWh/año. Cubierta por ren.99,2%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 2510 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 8683 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 43 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 102,7 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 1841 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 1848 kWh/año  
 Vida de las baterías: 15 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO<sub>2</sub>: 372 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 22,5 litro/año): 78 kg CO<sub>2</sub>/año  
 H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6489. Empleos creados durante vida sistema: 0,024



**Figura 50. Balance anual de energía del sistema. Caso 6 baterías de litio.**



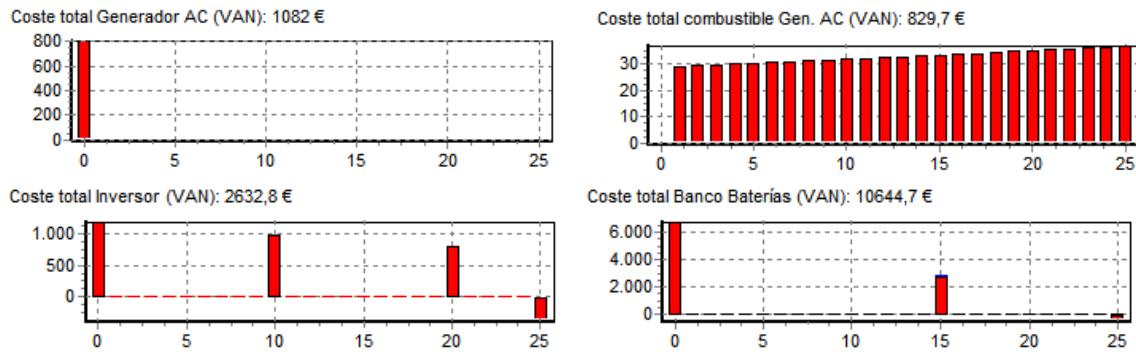


Figura 51. Costes del sistema. Caso 6 baterías de litio.

**BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:**

Energía Total Demandada: 15953 kWh/año. Cubierta por ren.100%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 6074 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 24749 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 6531 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 5836 kWh/año  
 Vida de las baterías: 6,16 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO2 : 3300 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año  
 H2 vendido anual : 0 kg H2/año // IDH: 0,7571. Empleos creados durante vida sistema: 0,0684

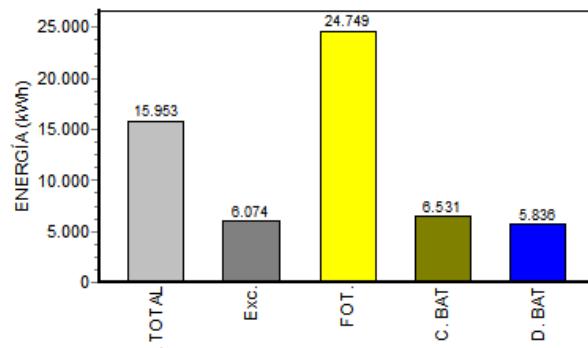


Figura 52. Balance anual de energía del sistema. Caso 7 baterías de plomo.

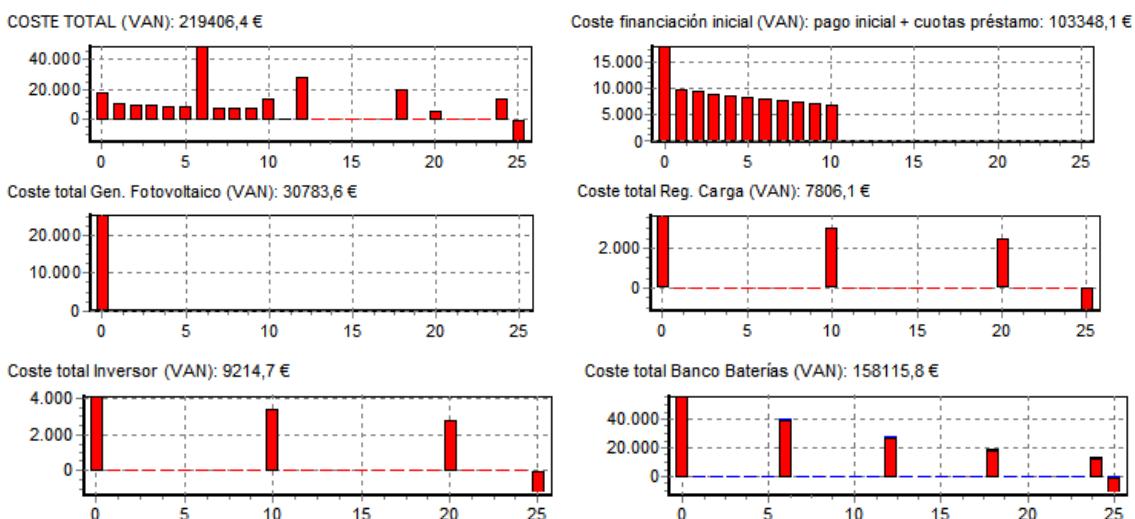


Figura 53. Costes del sistema. Caso 7 baterías de plomo.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 15952 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 5,9 kWh/año (0,04 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 5672 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 23447 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 5729 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 5929 kWh/año

Vida de las baterías: 15 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO2 : 1522 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,7571. Empleos creados durante vida sistema: 0,0648

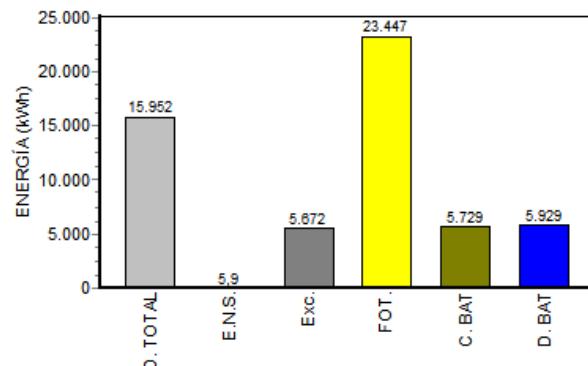
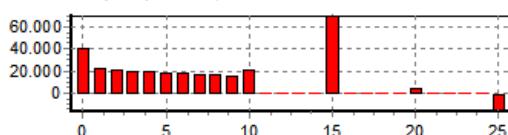
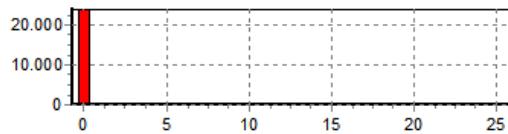


Figura 54. Balance anual de energía del sistema. Caso 7 baterías de litio.

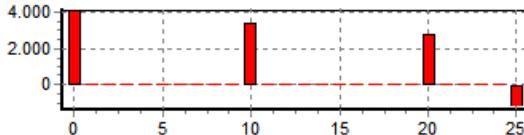
COSTE TOTAL (VAN): 318187,8 €



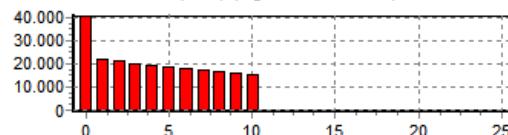
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 29204,7 €



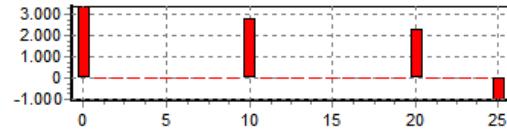
Coste total Inversor (VAN): 9214,7 €



Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 231125,4 €



Coste total Reg. Carga (VAN): 7391,5 €



Coste total Banco Baterías (VAN): 242580,5 €

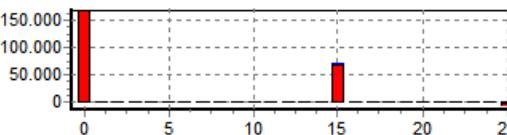


Figura 55. Costes del sistema. Caso 7 baterías de litio.

### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 15953 kWh/año. Cubierta por ren.97,9%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 6868 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 25183 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 338 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 473,25 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 6146 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 5442 kWh/año

Vida de las baterías: 5,07 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO2 : 1544 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 142,5 litro/año): 498 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,7571. Empleos creados durante vida sistema: 0,0696

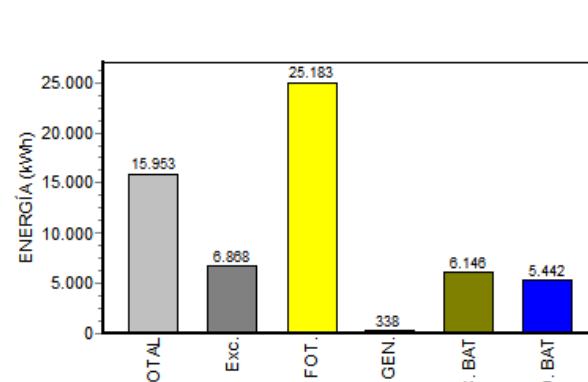


Figura 56. Balance anual de energía del sistema. Caso 8 baterías de plomo.

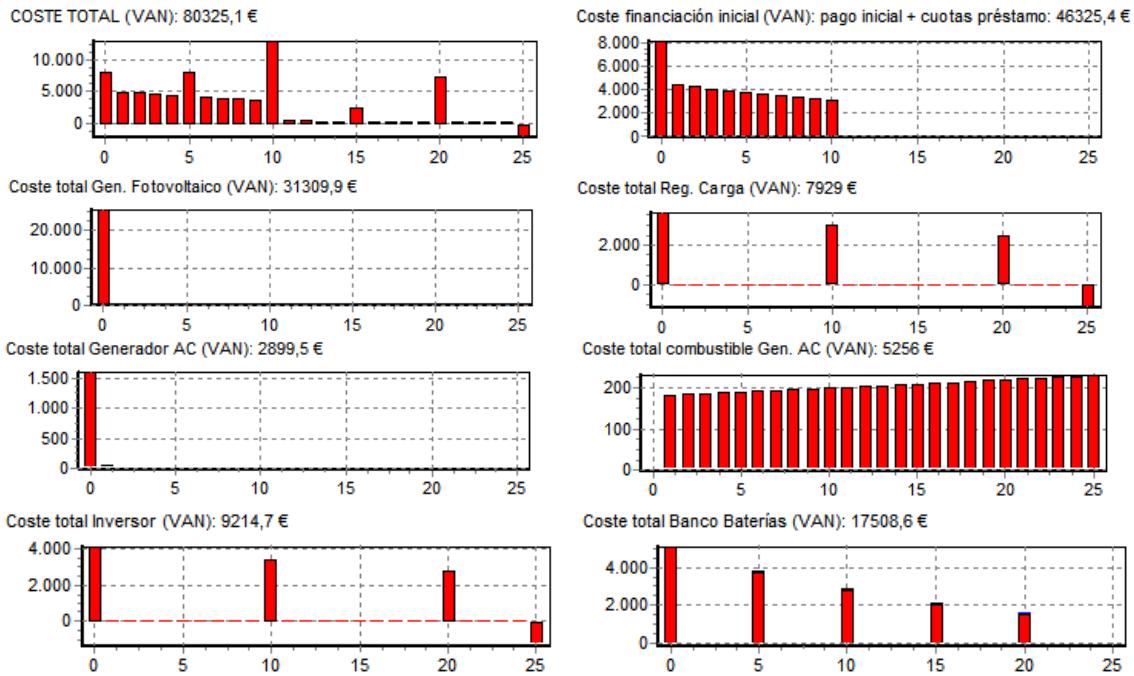


Figura 57. Costes del sistema. Caso 8 baterías de plomo.

#### BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 15952 kWh/año. Cubierta por ren.95,6%  
 Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)  
 Energía producida en Exceso: 4929 kWh/año  
 Energía generada por los Paneles Fotov.: 22144 kWh/año  
 Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año  
 Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año  
 Energía generada por el Generador AC: 697 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Generador AC: 1254,28 h/año  
 Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año  
 Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año  
 Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año  
 Energía cargada en las baterías: 5290 kWh/año  
 Energía descargada desde las baterías: 5306 kWh/año  
 Vida de las baterías: 15 años  
 E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año  
 E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año  
 Emisiones totales de CO<sub>2</sub>: 1904 kg CO<sub>2</sub>/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 324,1 litro/año): 1134 kg CO<sub>2</sub>/año  
 H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,7571. Empleos creados durante vida sistema: 0,0613

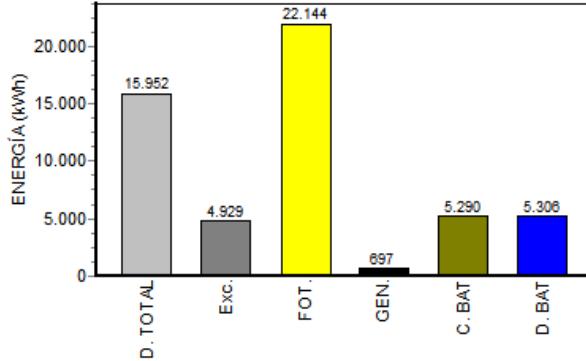
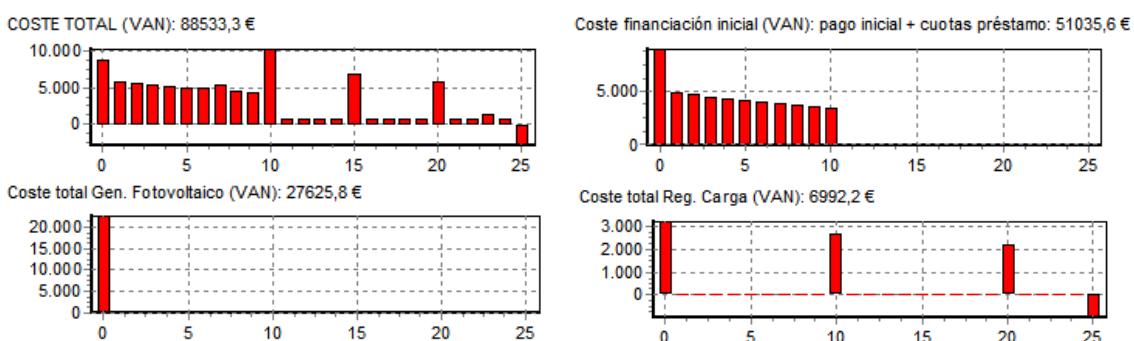
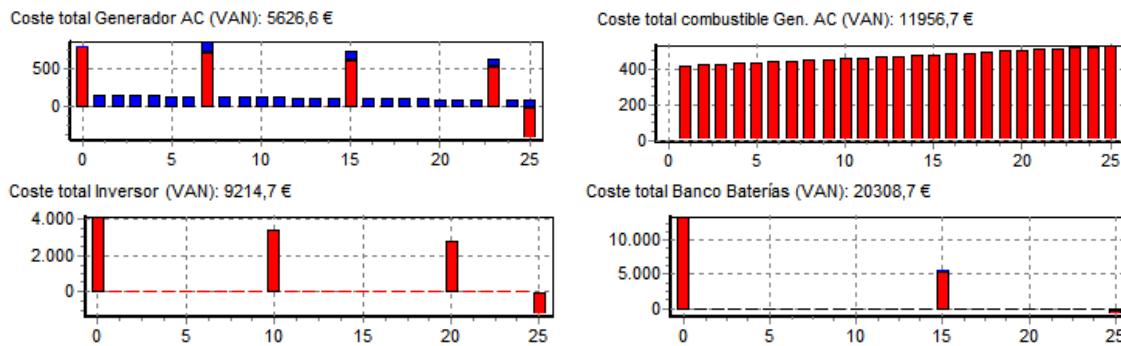


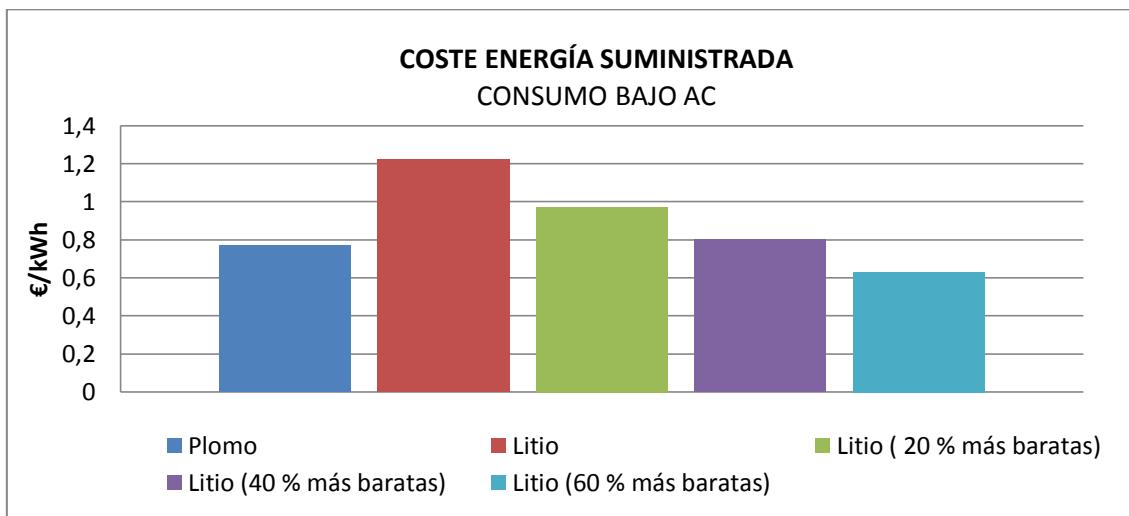
Figura 58. Balance anual de energía del sistema. Caso 8 baterías de litio.



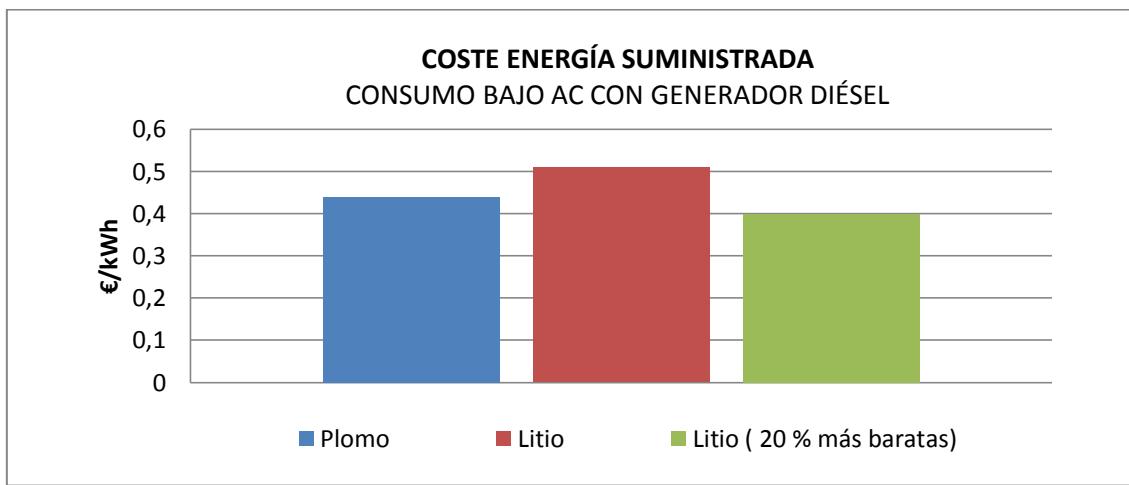


**Figura 59.** Costes del sistema. Caso 8 baterías de litio.

## 12.2 ANEXO II



**Figura 60.** Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 1.



**Figura 61.** Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 2.

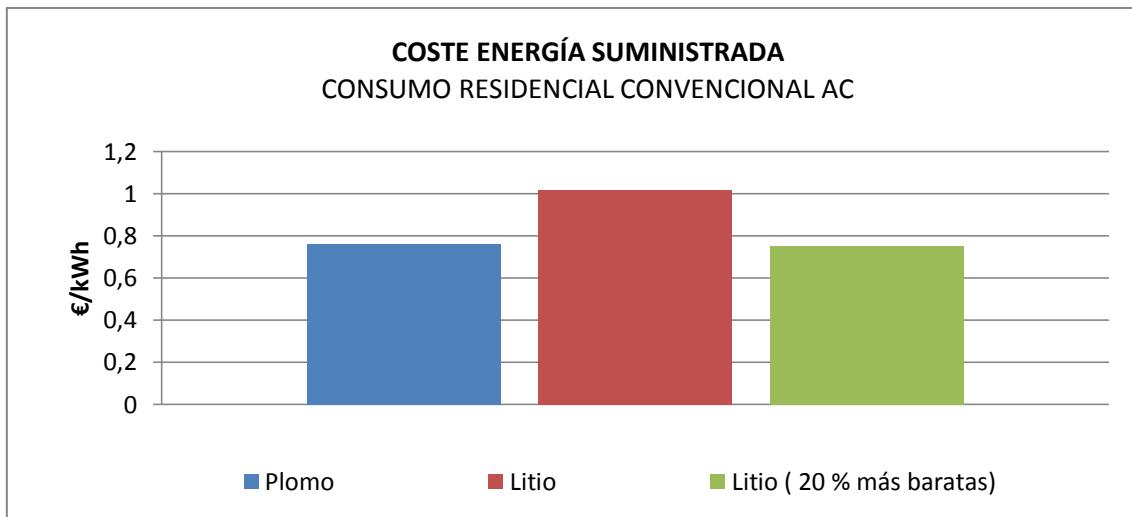


Figura 62. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 3.

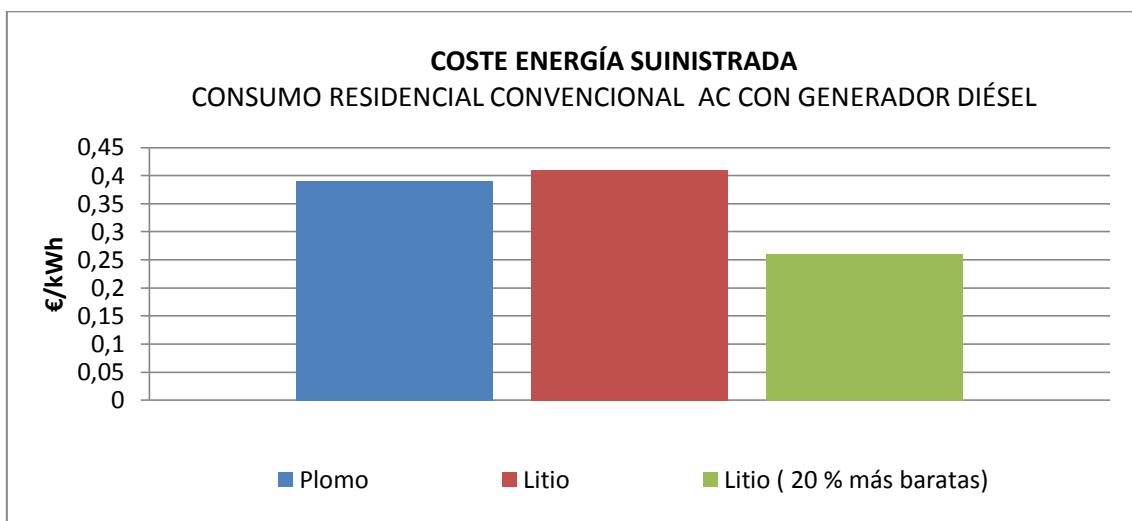


Figura 63. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 4.

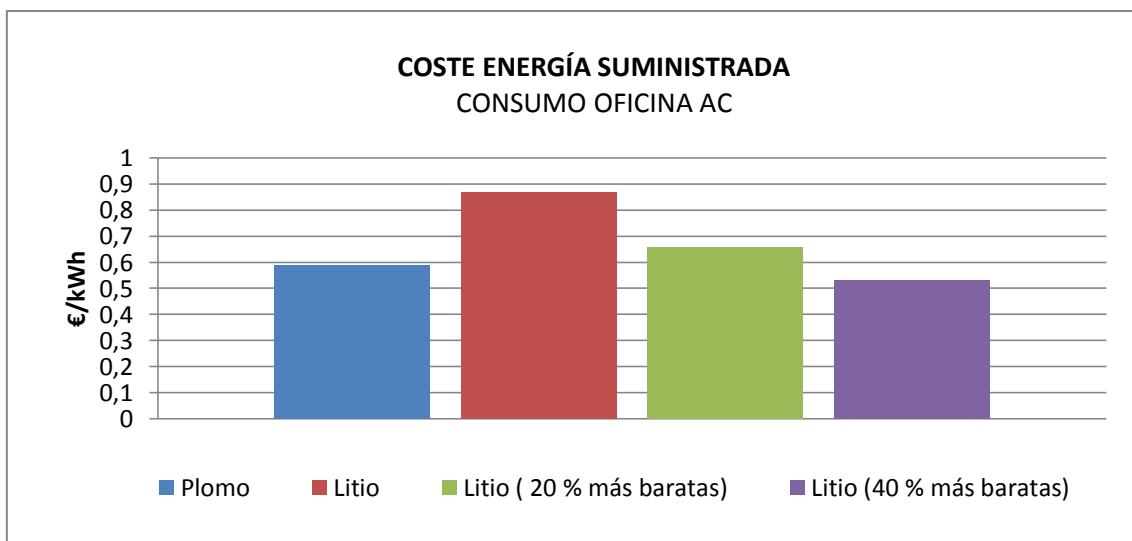


Figura 64. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 5.

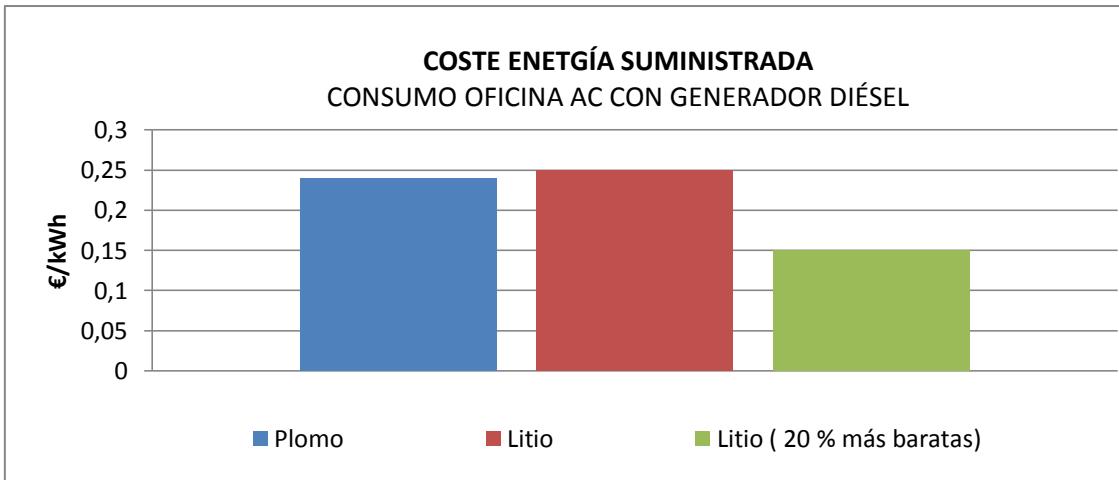


Figura 65. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 6.

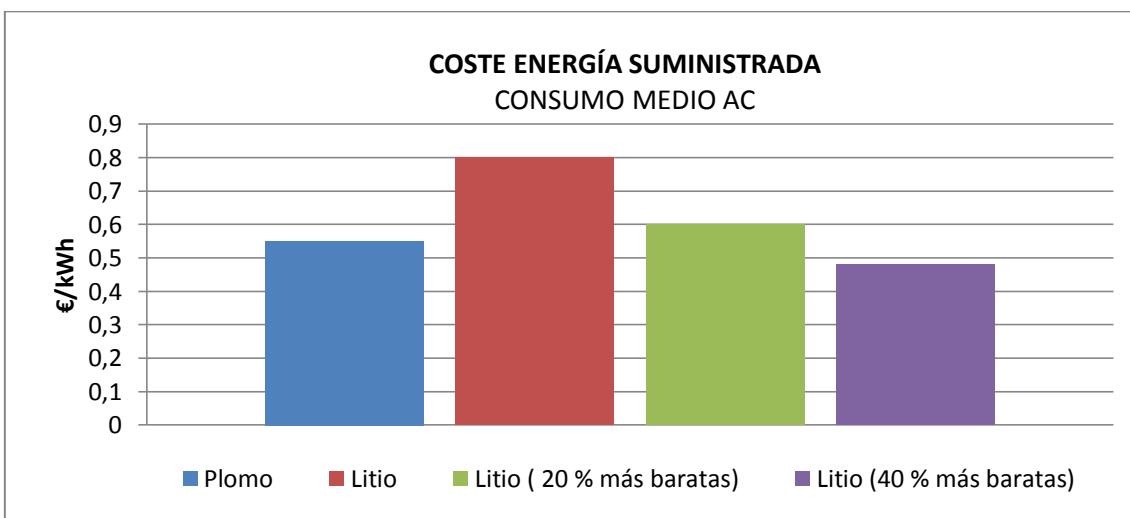


Figura 66. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 7.

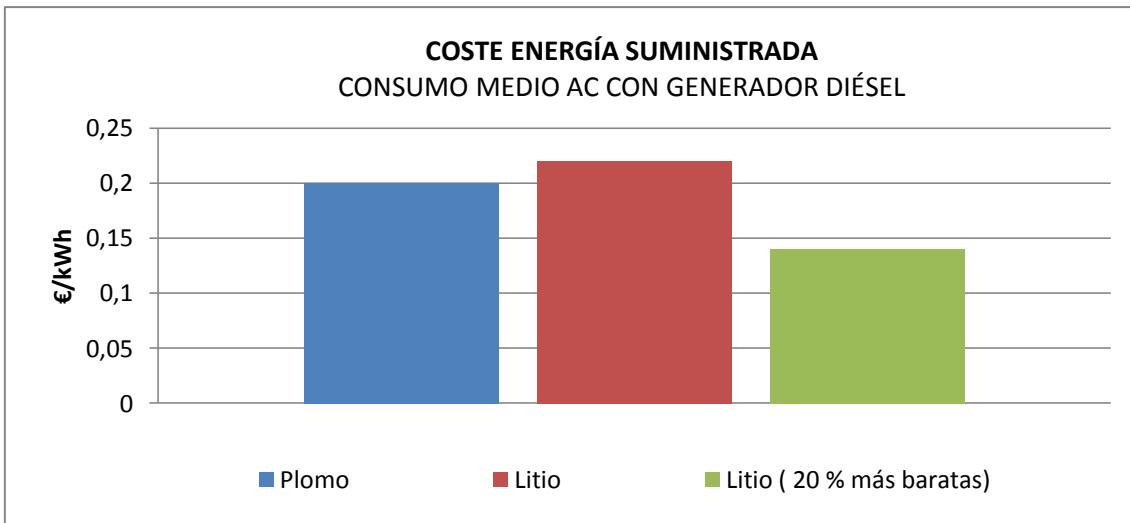


Figura 67. Comparación coste energía suministrada entre diferentes baterías. Caso 8.