

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Tecnología Electrónica



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN
SISTEMA HÍBRIDO AISLADO CON
AEROTERMIA Y UN SISTEMA
CONECTADO A RED.**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Alba Horna Blanco

Tutor: Vicente Salas

Leganés, Septiembre de 2015





ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. DESCRIPCIÓN	9
1.2. OBJETIVO	10
1.3. PLANIFICACIÓN	11
1.4. NORMATIVA	13
2. ESTADO DE LA TÉCNICA.....	15
2.1. ENERGÍAS RENOVABLES	15
2.1.1. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	15
2.1.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	23
2.1.3. MARCO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO	25
2.1.4. MARCO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA.....	27
2.2. ENERGÍA SOLAR.....	29
2.2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	30
2.3. AEROTERMIA: BOMBA DE CALOR.....	36
2.3.1. BOMBA DE CALOR	38
2.3.2. BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA	40
2.4. AUTOCONSUMO.....	42
2.5. HIBRIDACIÓN ENERGÉTICA	43
2.5.1 INTRODUCCIÓN	43
2.5.2. SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS AISLADOS	44
2.6. DISPOSITIVOS DE LOS SISTEMAS AISLADOS FOTOVOLTAICOS	48
2.6.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	48
2.6.2. BATERÍAS	53
2.6.3. REGULADORES.....	56
2.6.4. INVERSORES.....	59
2.6.5. GENERADOR DIÉSEL DE CORRIENTE ALTERNA	62
2.7. PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA SISTEMAS HÍBRIDOS	63
3. ESTUDIO PREVIO	65
3.1. SITUACIÓN DE LA VIVIENDA	65
3.2 DEMANDA ENERGÉTICA	66
3.3. RADIACIÓN SOLAR.....	71
4. SIMULACIONES.....	75
4.1. SISTEMA HÍBRIDO AISLADO CON AEROTERMIA	76
4.1.1. DIMENSIONADO	77
4.1.2. SIMULACIÓN	86
4.1.3. ESTUDIO ENERGÉTICO	89
4.1.4. ESTUDIO ECONÓMICO.....	94
4.2. SISTEMA CONECTADO A RED	97
4.2.1. DIMENSIONADO	98



4.2.2.	SIMULACIÓN	100
4.2.3.	ESTUDIO ENERGÉTICO	102
4.2.4.	ESTUDIO ECONÓMICO	106
5.	CONCLUSIONES	108
6.	PRESUPUESTO	111
7.	TRABAJOS FUTUROS	113
7.1	Simulación de un Sistema Híbrido aislado con energía geotérmica	113
7.2	Simulación de un Sistema sin energías renovables	113
7.3	Comparativa entre instalaciones individuales y colectivas	113
7.4	Determinación del momento de compra de la instalación.....	113
8.	BIBLIOGRAFÍA	114
9.	ANEXOS	117
9.1.	Hojas de características.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1.1: Sobre el marco regular. Etiqueta energética.....	14
figura 2.1: Tipos de Energías Renovables.....	15
figura 2.2: Transporte de madera por el río. Molino de agua.....	16
figura 2.3: Esquema central Hidroeléctrica.....	17
figura 2.4: Salinas.	18
figura 2.5: Molinos de viento.	19
figura 2.6: El mar.	20
figura 2.7: Fuentes termales.	21
figura 2.8: Esquema proceso geotérmico.	21
figura 2.9: Pellets.....	22
figura 2.10: Situación Internacional.	25
figura 2.11: Situación Internacional.	26
figura 2.12: Situación Internacional.	26
figura 2.12: Cobertura de la demanda anual de energía eléctrica en 2014 según Red Eléctrica de España.....	28
figura 2.13: Evolución de la producción de energías renovables y no renovables en 2014 según Red Eléctrica de España.	28
figura 2.14: El Sol.....	29
figura 2.15: Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo.....	31
figura 2.16: Aplicación de la energía solar en sistemas aislados.	31
figura 2.17: Aplicación de la energía solar en sistemas conectados a red.....	32
figura 2.18: Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.	34
figura 2.19: Central fotovoltaica según UNESA.....	35
figura 2.20: Huerto solar.	36
figura 2.21: Esquema de funcionamiento de la Aerotermia en una vivienda.	37
figura 2.22: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno según IDAE.....	38
figura 2.23: Esquema del ciclo de una bomba de calor reversible.	39
figura 2.25: Esquema tipos de autoconsumo.....	42
figura 2.26: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CC con generador diésel.	45
figura 2.27: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CA con generador diésel.	46
figura 2.28: Configuración de la hibridación en acoplamiento mixto (CC y CA) con generador diésel.....	47
figura 2.29: Estructura básica de una célula solar.	49
figura 2.30: Silicio monocristalino.....	49
figura 2.31: Silicio policristalino.	50
figura 2.32: Silicio amorfo.	50
figura 2.33: Detalle seccionado de un módulo fotovoltaico.....	51
figura 2.34 (izquierda): Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico.....	52
figura 2.36 Conexión de las células de un módulo fotovoltaico de silicio monocristalino.....	52
figura 2.37: Regulador.....	56
Figura 2.38: Esquema básico de los reguladores series y paralelo según CIEMAT.....	58
figura 2.39: Generador diésel.	62
figura 2.40: Ejemplo de un sistema híbrido diseñado con iHoga.....	63
figura 3.1: Localización de la vivienda.....	65
figura 3.2: Tabla de consumo software iHoga.	68

figura 3.3: Tabla de aleatoriedad del consumo software iHoga.....	69
figura 3.4: Consumo medio diario durante el mes de enero.....	69
figura 3.5: Consumo medio diario en horas durante el mes de julio.....	70
figura 3.6: Consumo energético de 7 días.....	70
figura 3.7: Interfaz software iHoga.....	73
figura 3.8: Irradiación anual superficie horizontal frente a superficie inclinada.....	74
figura 4.1: Esquema sistema híbrido aislado según iHoga.....	76
figura 4.2 : Modelos de módulos fotovoltaicos proporcionados por iHoga.....	79
figura 4.3 : Modelos de baterías proporcionados por iHoga.....	82
figura 4.4: Curva característica ciclos de vida – profundidad de descarga (%) – Energía ciclada (kWh).....	83
figura 4.5: Modelos de inversores bidireccionales proporcionados por iHoga.....	84
figura 4.6: Curva característica Eficiencia (%) –Potencia de salida (%Pn). Inversor XANTREX: XW4548-230.....	84
figura 4.7: Modelos de generadores AC proporcionados por iHoga.....	85
figura 4.8: Consumo (l/h) generador diésel 1,9 KVA.....	85
figura 4.9: Datos económicos a completar en el interfaz principal de iHoga.....	86
figura 4.10: Restricciones que condicionan el sistema.....	87
figura 4.11: Resultado de la simulación realizada por el software iHoga.....	88
figura 4.12: Gráfica Energía mensual generador fotovoltaico (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	90
figura 4.13: Gráfica Energía mensual Generador Diésel AC (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	90
figura 4.14: Gráfica Energía mensual Carga de Baterías (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	90
figura 4.15: Gráfica Energía mensual Descarga Baterías (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	91
figura 4.16: Gráfica Energía en Baterías al final de cada mes (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	91
figura 4.17: Gráfica del Exceso de energía mensual (kWh) proporcionada por el software iHoga.....	91
figura 4.18: Balance de energías del sistema a lo largo de un año.....	92
figura 4.19: Simulación estudio energético durante 24 horas.....	92
figura 4.20: Potencia media mensual y anual de generación de electricidad (kW).....	93
figura 4.21: Gráfico con el correspondiente porcentaje económico de cada elemento del sistema.....	96
figura 4.22: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	97
figura 4.23: Curva característica Eficiencia (%) –Potencia de salida (%Pn). Inversor SOLARIX: 1200X3.....	100
figura 4.24: Restricciones que condicionan el sistema.....	101
figura 4.25: Resultado de la simulación realizada por el software iHoga.....	102
figura 4.26: Gráfica Energía mensual del generador FV proporcionada por el software iHoga.....	103
figura 4.27: Gráfica Energía No Servida por el sistema autónomo proporcionada por el software iHoga.....	104
figura 4.28: Balance de energías de cada componente del sistema proporcionado por iHoga.....	104
figura 4.29: Simulación estudio energético durante 24 horas.....	105
figura 4.30: Potencia media mensual y anual de generación de electricidad (kW).....	105
figura 4.31: Gráfico con el correspondiente porcentaje económico de cada elemento del sistema.....	107





INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Planificación del trabajo	12
Tabla 3.1: Tabla de consumo	67
Tabla 3.2: Tabla de la radiación solar media mensual en una superficie horizontal.....	72
Tabla 4.1: Características eléctricas de los paneles PV Atersa: A280P (280 Wp).....	80
Tabla 4.2: Resumen resultado de la simulación realizada por el software iHoga.	88
Tabla 4.3: Tabla resultado de valores de energía y consumo mensuales proporcionados por el software iHoga.	89
Tabla 4.4: Tabla resultado de valores de energía y consumo anuales proporcionados por el software iHoga.	89
Tabla 4.5: Tabla resultado de los costes referidos a VAN durante 25 años.	94
Tabla 4.6: Tabla resultado de valores de energía y consumo mensuales proporcionados por el software iHoga.	103
Tabla 4.7: Tabla resultado de valores de energía y consumo anuales proporcionados por el software iHoga.	103
Tabla 4.8: Tabla resultado de los costes referidos a VAN durante 25 años.	106
Tabla 5.1: Elementos de cada instalación	108
Tabla 5.2: Resumen de ambos sistemas en términos energéticos.....	109
Tabla 5.3: Resumen de ambos sistemas en términos económicos	109
Tabla 5.3: Cálculo del coste real de la energía consumida	110

1. INTRODUCCIÓN

Este documento consiste en el Trabajo de Fin de Grado para la obtención del título de Grado en Ingeniería Industrial en Electrónica y Automática por la Universidad Carlos III de Madrid.

1.1. DESCRIPCIÓN

El presente trabajo muestra un estudio comparativo entre dos sistemas híbridos, en el primer caso emplearemos la Energía Solar, la Aerotermia y un generador diésel para diseñar un **Sistema Híbrido Aislado con Aerotermia** y en el segundo caso emplearemos únicamente la Energía Solar y la conexión a la red eléctrica. Para ello, se utiliza el software iHoga [1] (improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) con el que se diseñan ambos sistemas, **Sistema Fotovoltaico Híbrido Aislado con Aerotermia** y **Sistema Fotovoltaico conectado a red**.

En primer lugar se realiza una investigación bibliográfica sobre las energías renovables, la energía solar, la aerotermia, la hibridación energética y también sobre los distintos componentes que forman cada uno de los sistemas aislados. Tras esta investigación, con todos los conocimientos adquiridos se elabora la documentación donde se desarrollan todos los temas citados anteriormente.

Una vez finalizado este primer punto, el cuál podríamos considerar la parte teórica del proyecto, se comienza con la parte práctica.

Dentro de la parte práctica, se empieza primeramente con el estudio previo, donde se definen la situación de la vivienda, el consumo energético y la radiación solar. Estos parámetros condicionarán todos los resultados y se mantendrán fijos en ambos sistemas.

Antes de comenzar con las simulaciones, se necesita estudiar y comprender el funcionamiento de la herramienta iHoga, las características de cada uno de los elementos que constituyen el sistema así como un diseño teórico con los cálculos necesarios.

Tras tener adquiridos los conocimientos anteriores se procede a realizar el objetivo del proyecto, se realiza el estudio de los sistemas.

El estudio de ambos sistemas siempre seguirá los mismos pasos:

- **Dimensionado del sistema:** Mediante los cálculos necesarios se razona las características que han de cumplir los elementos que forman los sistemas.
- **Simulación:** En este apartado se explican y se introducen en la herramienta las restricciones de simulación, los parámetros de control y el modelo de optimización.



- **Estudio energético:** El estudio muestra el consumo energético del sistema y de los elementos para un año de funcionamiento.
- **Estudio económico:** El estudio se realiza durante los 25 años de vida del sistema para poder analizar la rentabilidad de cada sistema y tomar la decisión de cuál de los es más rentable. Dentro de este apartado se muestra la inversión inicial y el mantenimiento de los elementos, así como los ingresos por la venta de los mismos al final de su vida útil.

En nuestro caso, el primer caso a estudiar es un sistema híbrido aislado con aerotermia y un generador diésel de apoyo. Este sistema se alimenta de la energía solar, módulos fotovoltaicos, junto con el generador diésel de apoyo para los momentos en los que nuestras baterías estén descargadas y no haya luz solar. El segundo sistema a estudiar es un sistema fotovoltaico conectado a red.

En el apartado de conclusiones se realizará la comparación y análisis de ambos sistemas, llegando a la conclusión de que el sistema híbrido es la solución más óptima tanto en términos económicos como energéticos.

1.2. OBJETIVO

El proyecto que aquí se desarrolla, tiene como objetivo principal realizar un estudio comparativo entre dos sistemas, **un sistema híbrido aislado con aerotermia y sistema fotovoltaico conectado a red**, y elegir la configuración más óptima. Para alcanzar el objetivo, será necesario además realizar las siguientes tareas:

- **Estudio previo** de las distintos tipos de energías renovables profundizando en la Energía Solar y la Aerotermia, la hibridación energética y los distintos componentes que forman cada uno de los sistemas aislados: Es necesario entender estos conceptos y su uso para el beneficio de nuestro sistema, así como estudiar la situación actual del mercado de las mismas para poder realizar la viabilidad económica de manera correcta.
- **Cálculo de gestión de consumos:** Definir los parámetros que se mantendrán fijos en ambos sistemas: situación de la vivienda, consumo e irradiación solar.
- **Aprendizaje del manejo de iHoga:** Se parte de un conocimiento nulo sobre este software, por lo que antes de comenzar a trabajar con él será necesario leer los correspondientes manuales y practicar con ejemplos más sencillos.



1.3. PLANIFICACIÓN

Antes de comenzar el trabajo, se realizó una planificación del mismo para optimizar el tiempo y las tareas. Dado que un trabajo de fin de grado consta de 12 créditos ECTS debe comprender un mínimo de 300 horas de trabajo, se usó esta cifra como base de dicha planificación.

En un principio se quería dividir las 300 horas en 10 meses, en bloques de 30 horas por mes pero debido a la situación académica y laboral del autor este organigrama inicial no se pudo llevar al cabo. Por ello se terminó excluyendo los meses de diciembre, enero, mayo y junio, por lo que la planificación final consistió en la división de las 300 horas en 6 meses, en bloques de 50 horas por mes. La fecha límite de entrega de la memoria es el 27 de septiembre, pero al ser necesario también preparar una presentación, se decidió incluir el mes entero en la planificación.

El presente trabajo, como puede verse en el punto anterior (1.2.Objetivos), presenta una gran carga de aprendizaje y documentación al ser un campo totalmente nuevo para el autor, por lo que estas partes ocuparon la mayor parte de los tres primeros meses de trabajo. Los puntos principales sobre los que se recopiló información fueron: Energías renovables, Energía Solar, Aerotermia, bombas de calor, hibridación energética, los distintos componentes del sistema, factores que condicionan el progreso de las energías renovables y estudio del software iHoga.

Una vez completada la fase de aprendizaje, antes de introducir nuestro sistema en el software necesitábamos calcular los parámetros fijos que introduciríamos posteriormente: situación de la vivienda, consumo e irradiación energética. Lo que en un principio se pensó que iba a ser una tarea simple acabo siendo un trabajo complejo y que requirió más tutorías para poder llegar a entenderlo. Por lo que el tercer y parte del cuarto mes se dedicó a esta tarea.

Durante el mes de julio y parte de agosto, se terminó el apartado del estudio previo y se comenzó con la última fase, antes de la elaboración de la documentación. Consistió en dar vida a nuestros sistemas a través del software iHoga y realizar es estudio de cada sistema para posteriormente sacar las conclusiones.

Entre la última quincena del mes de agosto y el mes entero de septiembre, se llevó al cabo la elaboración de la documentación. Inicialmente se había destinado menos tiempo a esta parte pero dado la poca práctica del autor redactando fue más complejo de lo esperado.

A continuación, en la tabla 1.1, se muestra una planificación general de todo el trabajo, indicando las partes principales en que se dividirá cada tarea, así como los puntos más críticos.

Tabla 1.1: Planificación del trabajo

Meses	Tarea	Subtarea	Comentarios
Diciembre/ Enero	Pausa por exámenes		Aunque estos dos meses se dejen vacíos, se estuvo trabajando con el tutor en el objetivo del proyecto y los pasos a seguir.
Febrero	50h: Investigación Bibliográfica	25h: Documentación sobre Energías renovables.	
		25h: Documentación sobre Energía Solar y Aerotermia.	
Marzo	50h: Investigación Bibliográfica	25h: Documentación Sistemas Híbridos.	
		25h: Documentación sobre los dispositivos de los sistemas.	
Abril	30h: Estudio previo		Documentación y cálculos sobre los parámetros fijos en ambos sistemas.
	10h: Tutorías		Aclarar dudas sobre el estudio previo.
Mayo/ Junio	Pausa por exámenes		Durante estos meses no se avanzó en el proyecto.
Julio	10h: Estudio previo		Finalizar el estudio.
	10h: Tutorías		Aclarar dudas acerca del diseño de los sistemas.
	30h: Simulaciones		Lectura de manuales, aprendizaje de la herramienta y diseño de los sistemas.
Agosto	20h: Simulaciones		Finalizar el estudio económico y energético de los sistemas.
	30h: Memoria		Elaboración de la documentación.
Septiembre	50h: Memoria		Finalizar la elaboración de la memoria, así como revisarla y referenciarla correctamente.

1.4. NORMATIVA

Para llevar a cabo el proyecto se aplicará la normativa vigente, para poder conseguir optimizar el uso de la energía, llegando a diseñar un sistema híbrido aislado con Aerotermia respaldado por el marco normativo vigente.

- **Código Técnico de la Edificación (CTE) [2]**

Es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

El CTE está dividido en dos partes. En la primera se detallan las exigencias en materia de seguridad y de habitabilidad que son preceptivas a la hora de construir un edificio y la segunda se compone de los tipos de documentos básicos.

La primera parte está subdividida a su vez en varias secciones referidas cada una de ellas a las distintas áreas que deben regularse. En el ámbito de la seguridad nos encontramos las disposiciones referidas a la seguridad estructural, la seguridad en caso de incendios y la seguridad de utilización. Mientras, en el área de habitabilidad están incluidos los requisitos relacionados con la salubridad, la protección frente al ruido y el ahorro de energía.

La segunda parte se compone de los Documentos Básicos (DB), que son textos de carácter técnico que se encargan de trasladar al terreno práctico las exigencias detalladas en la primera parte del CTE.

En concreto se atenderá especialmente al documento básico **DB HE [3]** contenido en el CTE para el Ahorro de Energía, en él se establecen las reglas y procedimientos que permiten conseguir un uso racional de la energía para la utilización en los edificios. Este documento tiene cinco secciones las cuáles se deben aplicar de manera correcta para satisfacer el requisito básico "Ahorro de energía".

- **Normativa ERP, "Energy Related Products" [4]**

Nueva normativa europea de etiquetado energético y diseño ecológico, que será de obligado cumplimiento y aplicación para los treinta países del ámbito económico de la Unión Europea a partir del 26 de septiembre de 2015.

Se definirá los siguientes parámetros que deberán cumplir los equipos comercializados e instalados a partir de su fecha de entrada en vigor:

- Emisiones contaminantes.
- Niveles mínimos de eficiencia.

- Emisiones máximas de NOx.
- Niveles de ruido producidos.

El fin de la normativa europea es alcanzar los objetivos internacionales sobre el medio ambiente incluidos en el Protocolo de Kyoto y en el Plan UE20 que pretenden reducir en un 20% la emisión de CO₂ al ambiente, aumentar en un 20% la eficiencia de los equipos, y la reducción en un 20% la energía proveniente de energías fósiles y nuclear sustituyéndolas por energías renovables. La normativa ERP nos afecta en nuestro proyecto al tener dentro de nuestra instalación una bomba de calor de Aerotermia.

Al realizar la gestión de consumo de nuestra vivienda, la correcta elección de los electrodomésticos y luces nos permitirá alcanzar un consumo óptimo para garantizar el ahorro energético de nuestro sistema. Por ello, tenemos que hacer referencia al **etiquetado energético [5]** que consiste en la nueva etiqueta de ámbito obligatorio para los 30 países de la UE, con ella se informará de los valores de consumo de energía y agua del aparato (eficiencia), así como de las prestaciones del mismo permitiendo conocer de forma rápida la eficiencia energética de un electrodoméstico.



Las principales diferencias que podemos encontrar con respecto a las antiguas etiquetas son:

- Las categorías que ahora van desde la A+++ a la D, siendo A+++ la más eficiente y la D la menos eficiente.
- Información adicional que ayudará al comprador a realizar una mejor elección.

figura 1.1: Sobre el marco regular. Etiqueta energética.

- **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [6]**

Establece las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinados a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas durante sus diseño y dimensionado.

2. ESTADO DE LA TÉCNICA

En el presente apartado, se presentarán los conceptos necesarios tanto para entender el trabajo en sí, como para hacerse una idea general de su ámbito de aplicación.

2.1. ENERGÍAS RENOVABLES

Para entender el concepto de Energía Renovable empezaremos definiendo la **Energía**; dependiendo del ámbito de trabajo puede tener un significado u otro.

Desde el punto de vista de la **Física**:

“La energía [7] es la capacidad que tiene un cuerpo de producir trabajo y manifestarse de tres formas: mecánica, térmica y radiante. “

En cambio desde un punto de vista **Tecnológico**:

“La Energía [7] se define como un recurso natural primario o derivado que permite extraerlo, transformarlo y darle un uso industrial o económico.”

Teniendo en cuenta el objetivo de nuestro proyecto, la definición desde un ámbito tecnológico es la más adecuada. A partir de esta podemos definir el concepto de **Energía Renovable** como:

“Energía obtenida de fuentes naturales, teóricamente inagotables.”

2.1.1. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Existen una gran variedad de energías renovables que se clasifican según los recursos naturales utilizados para la generación de energía. A continuación se presenta un resumen de los distintos tipos:



figura 2.1: Tipos de Energías Renovables.

- **ENERGÍA HIDRÁULICA**

Desde las primeras civilizaciones ya se empleaba la energía del agua en movimiento, en ríos u otros cauces, cuyos principales usos eran la molienda de granos, martillos para trabajos metalúrgicos o transporte de mercancías aprovechando las corrientes de los ríos, este último se sigue utilizando hoy en día. Todo lo anterior contribuyó al desarrollo económico e industrial de muchos países, desde la Edad Media hasta la Revolución Industrial. [8]



figura 2.2: Transporte de madera por el río. Molino de agua

En un curso de agua, la energía que esta posee y puede entregar para otros usos, se compone de **un salto** (energía potencial respecto de un nivel de referencia) y **un caudal** (energía cinética). La **Potencia Hidráulica [9]** se expresa como:

$$\text{Potencia hidráulica} = \gamma * Q * H_n$$

Donde,

γ : Peso específico del agua (1.000 kg/m³)

Q : Caudal de agua (m³ /s)

H_n : Altura neta (m)

Por ello, podemos definir La **Energía Hidráulica [8]** como:

“La energía potencial acumulada en los saltos de agua que se transforma en energía eléctrica.”

El **proceso de obtención** comienza cuando el agua empieza a perder altura y a ganar velocidad. La disminución de la energía potencial se transforma en energía cinética, excepto las pérdidas por rozamientos.

El agua atraviesa una turbina, la cual la transforma en potencia mecánica y ésta a través de un generador, es transformada en potencia eléctrica. Desde ahí pasa a los transformadores, para iniciar su viaje a los centros de consumo.

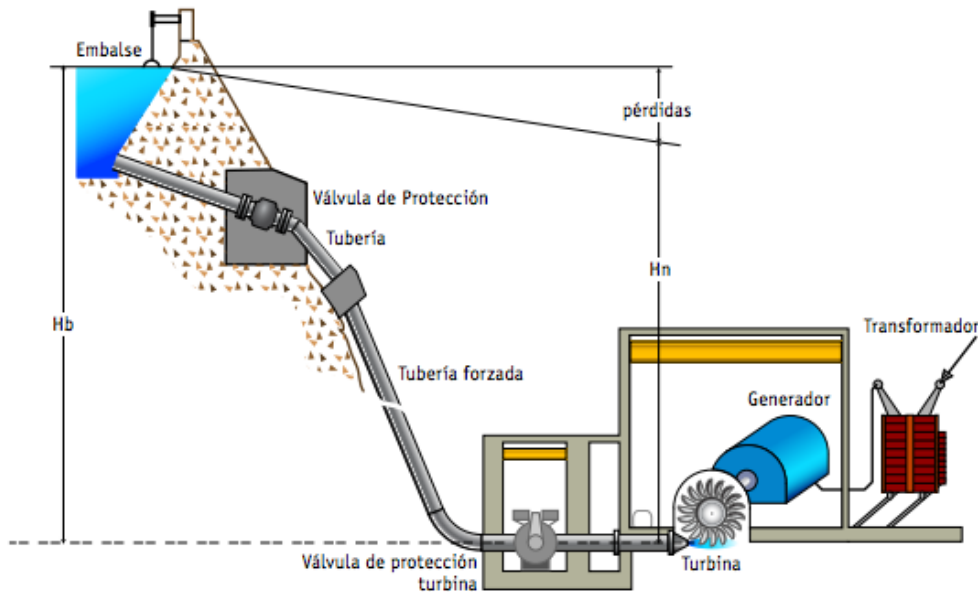


figura 2.3: Esquema central Hidroeléctrica

- **AEROTERMIA:**

A diferencia del resto de energías renovables, la energía del aire o aerotermia tiene sus inicios hace apenas seis años cuando la directiva de la Unión Europea decidió por primera vez considerarla como una energía renovable. Por ello, no es de extrañar que todavía no se halla ni explotado ni promocionado al cien por cien.

La **Aerotermia [10]** se define como:

“La energía térmica acumulada en el aire exterior, que es aprovechada por las bombas de calor para la producción de calor o frío.”

Al igual que la geotermia se puede combinar con otras fuentes de generación térmica en determinadas aplicaciones para lograr una mayor rentabilidad de las inversiones formando sistemas híbridos combinados con distintas fuentes de energía, sean renovables o convencionales, donde el funcionamiento de los equipos es optimizado en función de las condiciones del régimen de trabajo.

Una de las ventajas fundamentales de la Aerotermia es que puede ser utilizado prácticamente en cualquier tipo de vivienda ya que la bomba de calor no ocupa mucho espacio y de lo único que se requiere es de cierta protección de los equipos.

El concepto de aerotermia será profundizado a lo largo del capítulo 2.3.

- **ENERGÍA SOLAR:**

En estricto rigor, las energías renovables tienen su origen en la energía solar, es decir, la energía eólica, geotérmica, mareomotriz, e incluso la biomasa, son aprovechamientos indirectos de la energía aportada por el sol.

La forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar es el calentamiento de las viviendas, pasando por aplicaciones más industriales como la obtención de la sal (evaporación de aguas en las salinas), fabricación de adobes (secado del barro moldeado) y otras.



figura 2.4: Salinas.

La **Energía Solar [11]** se define como:

“Es la energía que transforma los rayos del sol en energía eléctrica, lo puede hacer de forma directa usando energía fotovoltaica, o de forma indirecta a través de energía solar concentrada.”

- **ENERGÍA EÓLICA:**

El aprovechamiento de la energía del viento por parte del ser humano se remonta a la antigüedad, podría decirse que junto a la energía térmica es una de las más primeras en usarse. La navegación a vela y los molinos de grano son algunos ejemplos. Tras una época de abandono, en los años 70 renació debido a la crisis del petróleo (1973) y a los impactos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles pero desde hace sólo unas pocas décadas se utiliza como fuente de generación eléctrica. [11]



figura 2.5: Molinos de viento.

Se puede definir la **Energía Eólica** como:

“La energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire que se transforma en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.”

El **proceso de obtención** comienza con el uso de máquinas eólicas o aeromotores, los cuáles transforman la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable para la producción de energía eléctrica. El sistema de conversión está compuesto por un aerogenerador que se encarga de mover una hélice que a su vez hace girar el rotor de un generador produciendo energía eléctrica. [11]

- **ENERGÍA DEL MAR:**

Tres cuartas partes de la Tierra están cubiertas por mar, teniendo en cuenta este dato, no es de extrañar que la energía del mar este en pleno auge.

A pesar de que ahora mismo sea su momento cumbre, en el antiguo Egipto ya se utilizaban molinos que aprovechaban la diferencia entre mareas.

El mar recibe la mayor parte de la energía procedente de la radiación solar. La evaporación de agua que luego precipita y los vientos son una manifestación de esta energía, por lo que es una fuente con muchísimos recursos. [11]



figura 2.6: El mar.

La **Energía del Mar [11]** se puede definir como:

“Energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un gran almacén de energía cinética”

Existen tres tipos de energía del mar:

- **Energía de las mareas**
- **Energía de las olas**
- **Energía térmica oceánica**

- **ENERGÍA GEOTÉRMICA:**

La geotermia lleva usándose como fuente de generación de energía eléctrica los últimos veinte años en países del centro y norte de Europa. Sin embargo, las fuentes geotérmicas no solo se pueden aprovechar para **generar electricidad** (alta entalpía), sino que también para **usos directos del calor** (baja entalpía).

Los ejemplos de usos de esta energía como calor datan de hace más de dos mil años en ruinas romanas relacionadas con el aprovechamiento termal desde Siria hasta Inglaterra, doscientos años Antes de Cristo. [11]



figura 2.7: Fuentes termales.

La **Energía Geotérmica** se define como:

“La energía calorífica proveniente del núcleo de la Tierra, la cual se desplaza hacia la superficie terrestre a través de las fisuras existentes en las rocas sólidas y semisólidas del interior de la Tierra.”

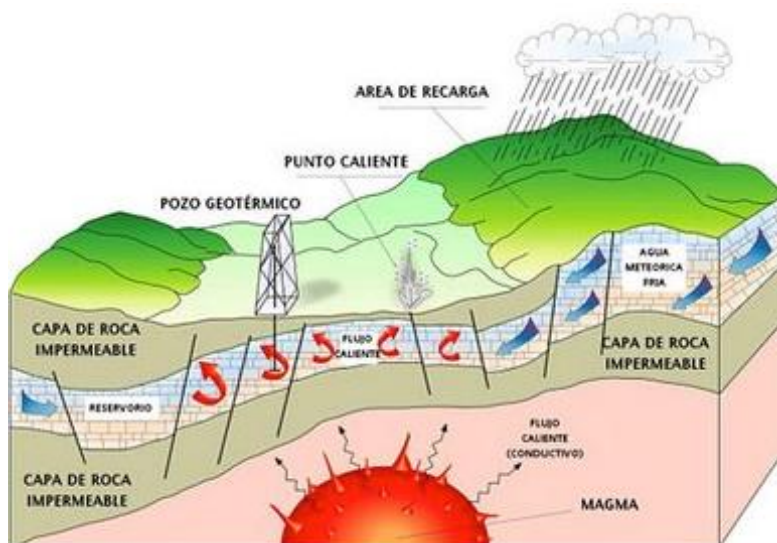


figura 2.8: Esquema proceso geotérmico.

- **ENERGÍA DE LA BIOMASA:**

Antes de adentrarnos en el concepto de Energía de la Biomasa empezaremos definiendo el concepto de **Biomasa**:

“Es el conjunto de materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.”

La Biomasa puede ser de origen natural, de origen residual, cultivos o excedentes agrícolas.

Por ello, la **Energía de la Biomasa [11]** se define como:

“La energía procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico”

El uso principal de la biomasa es la combustión directa, aunque existen tecnologías (gasificación, pirólisis, fermentación alcohólica y digestión anaeróbica) que transforman la biomasa inicial en otros combustibles con características más favorables para su uso.

La biomasa se usa principalmente como combustible en establecimientos industriales o en el sector doméstico, también puede ser utilizada como combustible para los medios de transporte evitando el uso de combustibles fósiles, biocombustibles.



figura 2.9: Pellets.

2.1.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Tal y como hemos comentado en el apartado anterior, las energías renovables constituyen una fuente inagotable de abastecimiento de energía, ya que provienen de manera directa o indirecta de la luz del sol.

Para poder hacer el estudio comparativo con un sistema conectado a la red, debemos tener en cuenta los puntos fuertes y débiles de las energías renovables.

2.1.2.1. VENTAJAS

Todas las ventajas citadas a continuación han sido respaldadas por numerosos análisis de expertos y son compartidas actualmente por importantes instituciones internacionales. [11]

- **Energías limpias:**

Las Energías Renovables tienen un escaso riesgo de contaminación, no producen gases de efecto invernadero, ni mareas negras, ni residuos peligrosos (como las nucleares).

También dentro de esta ventaja cabe destacar que son fáciles de desmantelar y no requieren custodiar sus residuos durante millones de años como en el caso de las nucleares.

- **Energías seguras:**

Los riesgos en caso de fallo son mucho más pequeños comparados con el riesgo de las centrales nucleares.

- **Energías inagotables:**

Las energías renovables se obtienen de fuentes naturales, teóricamente inagotable.

- **Energías autóctonas:**

Se utilizan cerca de donde se producen, por lo que implica una mayor independencia con el exterior y generan más empleo local.

La reducción de la dependencia energética es un punto muy positivo para cualquier país ya que permite una mayor autonomía frente a posibles conflictos geopolíticos.

- **Energías diversas:**

Las energías renovables provienen de distintos recursos naturales. Por ello, cualquier región del planeta puede autoabastecerse de energías renovables.



2.1.2.2. INCONVENIENTES

- **Irregularidad y difícil mantenimiento:**

Dependiendo de la fuente puede ser complicado garantizar su funcionamiento en todo momento. También hay que añadir el elevado coste de almacenar la energía producida.

- **Problemas específicos por mal uso:**

Todas las instalaciones energéticas pueden dar problemas que no son debidos a la técnica sino al mal uso. Algunos ejemplos son:

- Impactos visuales al paisaje o daños a las aves en el caso de los aerogeneradores.
- Abuso de los agrocombustibles no ecológicos.
- Construcción de grandes presas que cortan el flujo natural del río, alterando los ecosistemas que habitan en ellos.

- **Grandes extensiones de terreno:**

Esta desventaja continúa siendo un tema de debate a día de hoy; ya que los detractores alegan que hay una enorme cantidad de espacio inutilizado en las cubiertas de los edificios.

- **El excesivo consumo de nuestra sociedad.**

2.1.3. MARCO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

La obtención de generación de energía ha dado dos giros de 180 grados en tan sólo dos siglos. A principios del siglo XIX el 95% de la energía primaria consumida en el mundo provenía de recursos naturales, en cambio al inicio del siglo XX el porcentaje disminuía al 38% debido a la expansión de la Revolución Industrial (1820-1840) en toda Europa y Estados Unidos. Sin embargo, la tendencia parece estar cambiando, ya que en muchos países industrializados la proporción de energías renovables ha crecido de manera considerable en las dos últimas décadas.

En el 2014, según el informe del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la inversión en energía renovable aumento un 17% con un total de 270.000 millones de dólares invertidos, tras dos años de declive. Aun así, la inversión en electricidad de origen fósil fue superior, de 289.000M\$. [12] [13]

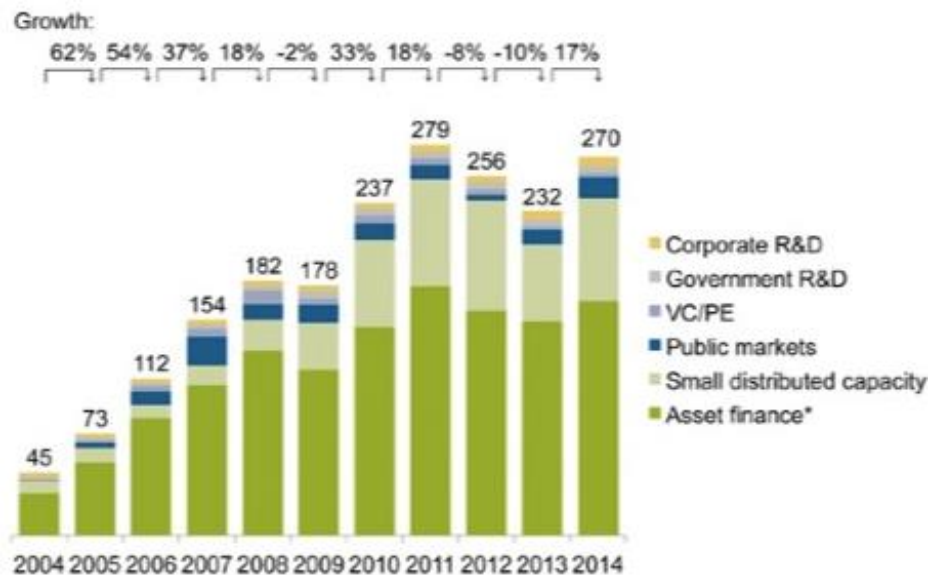


figura 2.10: Situación Internacional.

Según este mismo informe las adiciones de capacidad nueva supusieron 100 GW, más que toda la capacidad nuclear de los EEUU. Casi todo en solar (China y Japón) y eólica (Europa).

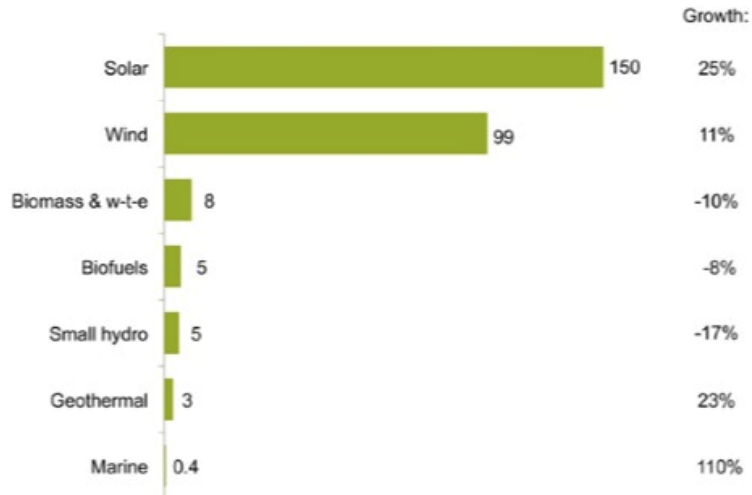


figura 2.11: Situación Internacional.

Como tercer punto a destacar de este informe es que casi la mitad de las inversiones se realizaron en países en desarrollo: China con 83.000 millones de dólares, Brasil e India con alrededor de 7.000 millones y Sudáfrica, con un poco menos.

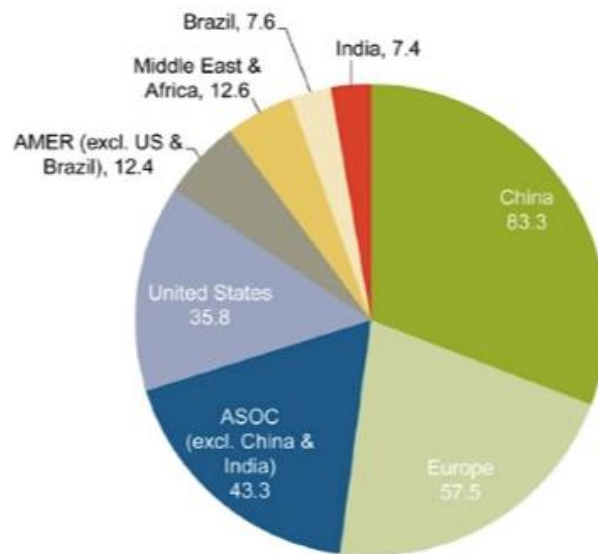


figura 2.12: Situación Internacional.

El interés por las energías renovables puede deberse a diferentes factores (económicos, medioambientales,...). Tras la publicación del **World Energy Outlook 2014** por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) [14] en el que se afirma que debido a la agitación en algunas partes de Oriente Medio y el conflicto entre Rusia y Ucrania, el sistema energético actual se encuentra bajo presión. Se podría teorizar que el principal motivo de impulsar las energías renovables es el factor geopolítico.

2.1.4. MARCO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

La regulación de las Energías Renovables en España no empieza a desarrollarse hasta la década de 1980. Su consolidación llega una década más tarde con el Plan Energético Nacional 1991-2000 y la Ley 40/1994 del sistema eléctrico nacional (LOSEN).

A principios del 2000 en concordancia con las medidas de apoyo a las energías renovables que se estaban llevando al cabo en Europa, se aprobaron distintas leyes que establecían las condiciones técnicas y administrativas. Este conjunto de medidas se conocía con el nombre de **Plan de fomento de las Energías Renovables (2000-2010)**, el cual tenía como objetivo para el 2010 generar el 30% de la electricidad a partir de fuentes renovables. [15]

Gracias a todas estas medidas, España fue en el año 2008 uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo, con 2708 MW en un año. Sin embargo, el estallido de la crisis económica en el 2009 implicó que se realizarán cambios en la legislación del sector, ralentizando la construcción de nuevas plantas fotovoltaicas.

En los últimos años la situación ha mejorado notablemente. Según el informe energético de Red Eléctrica de España la demanda de energía eléctrica peninsular durante el 2014 fue de 243.486 GWh, un 1,2% inferior con respecto al 2013. Corregidos los efectos de la laboralidad y la temperatura, la demanda atribuible principalmente a la actividad económica reduce la tasa de descenso hasta el 0,2 %, lo que supone una caída sensiblemente menor que el descenso registrado el pasado año que se situó en un 2,2 %. [16]

La potencia instalada peninsular se ha mantenido prácticamente estable respecto al año anterior, al finalizar el año 2014 en 102.259 MW, 122 MW (un 0,1 %) menos que en diciembre de 2013. La mayor variación la ha registrado el carbón que ha reducido su potencia en 159 MW como consecuencia del cierre de la central de Escucha. El resto de tecnologías no han tenido variaciones de potencia o han sido poco significativas.

En cuanto a la cobertura de la demanda:

- La **nuclear** cubrió el 21,9 % (un 21,2 % en 2013).
- La **eólica** el 20,4 % (un 21,2 % en 2013).
- El **carbón** el 16,4 % (un 14,6 % en 2013).
- La **hidráulica** el 15,4 % (un 14,2 % en 2013).
- La **cogeneración** el 10,4 % (un 12,5 % en 2013).
- Los **ciclos combinados** el 8,5 % (un punto menos que el año anterior).
- Las **tecnologías solares y la térmica renovable** el 7 % (similar a la de 2013).



figura 2.12: Cobertura de la demanda anual de energía eléctrica en 2014 según Red Eléctrica de España.

Las energías renovables han mantenido un papel destacado en la producción global de energía en el sistema eléctrico cubriendo el 42,8 % de la producción total (un 42,2 % en 2013). En términos absolutos la generación renovable ha descendido un 1,0 % respecto al año anterior, debido principalmente a la caída de la producción eólica.

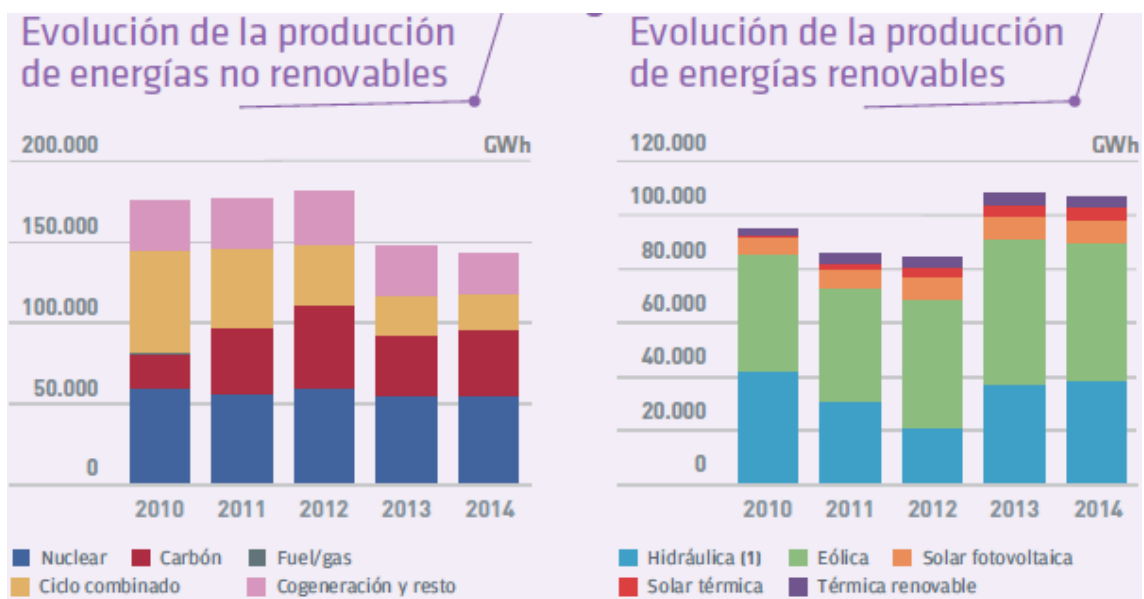


figura 2.13: Evolución de la producción de energías renovables y no renovables en 2014 según Red Eléctrica de España.

2.2. ENERGÍA SOLAR

Primeramente, antes de profundizar en la energía solar, es necesario hacer una breve introducción acerca del **Sol**, el cuál es el origen de todas las energías renovables.

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra así como el elemento más grande e importante de nuestro sistema solar, contiene aproximadamente el 98% de la masa total del sistema solar.

Además cabe destacar que constituye la mayor fuente de radiación electromagnética de nuestro sistema; dicha radiación se produce en el interior por un proceso de fusión nuclear.

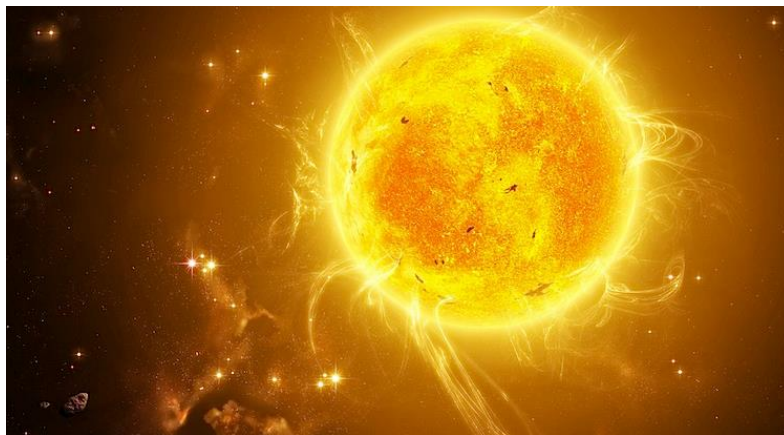


figura 2.14: El Sol.

Tras esta breve introducción, podemos empezar a profundizar en la energía solar.

La **energía solar [17]** se define como:

“Energía renovable contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica”

La energía solar se crea en el núcleo del Sol donde la gravedad empuja todos los átomos al centro. La presión es de 340 mil millones de atmósferas de la Tierra, lo cual genera una enorme vibración y frotación de las partículas alcanzando una temperatura de 15.000.000 °C. Al sumarse las cargas emitidas de todas las partículas generarán un campo electromagnético gigante producto de la rotación principalmente en el centro, dichas partículas buscarán ser retroalimentadas por los polos, pero estando tan juntas, se sumarán unas a otras hasta generar un enorme campo electromagnético alrededor del núcleo de plasma. La diferencia en la masa es expulsada como energía y llevada a la superficie del Sol, donde se libera luz y calor. **[18]**



Existen diferentes **tipos de energía solar [17]** dependiendo del método de recogida, la transformación de la energía que se realice y sus aplicaciones; algunos de ellos son:

Energía solar pasiva: Infraestructuras que obtienen en la energía directamente del sol, sin transformar.

Energía solar activa: Infraestructuras que convierten la energía solar en calor.

Energía solar térmica: Se trata del aprovechamiento de la energía de los rayos del sol para producir calor y energía destinada al consumo sanitario a pequeña escala.

Energía termoeléctrica: Se basa en el calentamiento de líquidos por efecto del sol.

Energía fotovoltaica: Se produce energía eléctrica a través del uso de células fotovoltaicas.

Energía eólico solar: Consiste en una chimenea pintada de negro en la que se almacena el aire que será calentado por los rayos del sol.

Por último, cabe destacar que la cantidad de energía que el Sol vierte sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el Planeta. Por este motivo, no nos extraña que la energía solar sea una de las fuentes de energías que más desarrollo ha tenido en las últimas décadas.

2.2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La **Energía Solar fotovoltaica** consiste en transformar la radiación del Sol en energía eléctrica, esta transformación se realiza través de la célula solar donde se produce el efecto fotovoltaico. [19]

Un sistema Fotovoltaico está formado principalmente por módulos fotovoltaicos, baterías de acumulación, reguladores de carga e inversores. El sistema funciona de manera muy sencilla; los **módulos** se encarga de transformar la energía del Sol en energía eléctrica, la cual se acumula en un **sistema de baterías** para poder utilizarla en los momentos que no hay Sol. La carga y descarga de las baterías implican que sea necesario emplear un **regulador de carga** que se encargue de proteger la batería contra sobrecargas o sobredescargas. Tenemos que tener en cuenta que los módulos producen corriente continua (DC) y que hay determinados consumos que puedan estar en corriente alterna. Por ello para solucionar este problema, se instalan unos **inversores** a la salida de la batería. [19]

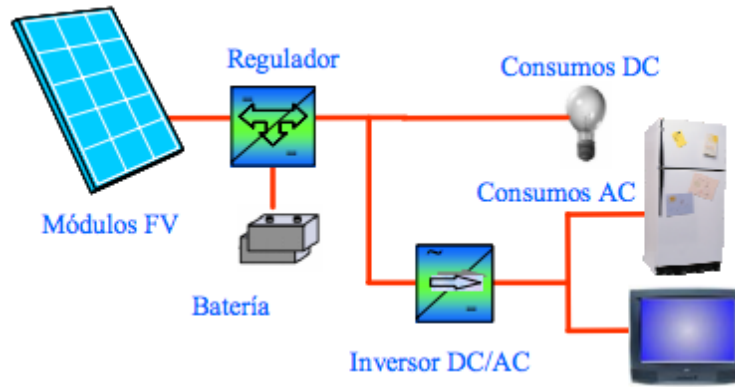


figura 2.15: Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo.

La Energía fotovoltaica como toda energía renovable tiene sus puntos fuertes y débiles. Dentro de sus **ventajas** cabe destacar que es una energía limpia, renovable, infinita y silenciosa. También posee ventajas económicas como subvenciones, corto pay-back para la energía y retribución económica de la producción para venta a red. Pero sin duda su principal ventaja técnica es su modularidad, la cual nos permite ampliarlo o sustituir algún componente del sistema sin tener que renovarlo todo. Las principales **desventajas** de esta energía son básicamente económicas ya que se requieren grandes inversiones iniciales y el proceso de fabricación de módulos es caro y complejo. En cuanto a los puntos débiles dentro del ámbito de la técnica, cabe destacar el almacenamiento de la energía. [20]

La energía solar fotovoltaica tiene un amplio abanico de aplicaciones. Hoy en día, la electricidad solar fotovoltaica está presente en los siguientes sectores:

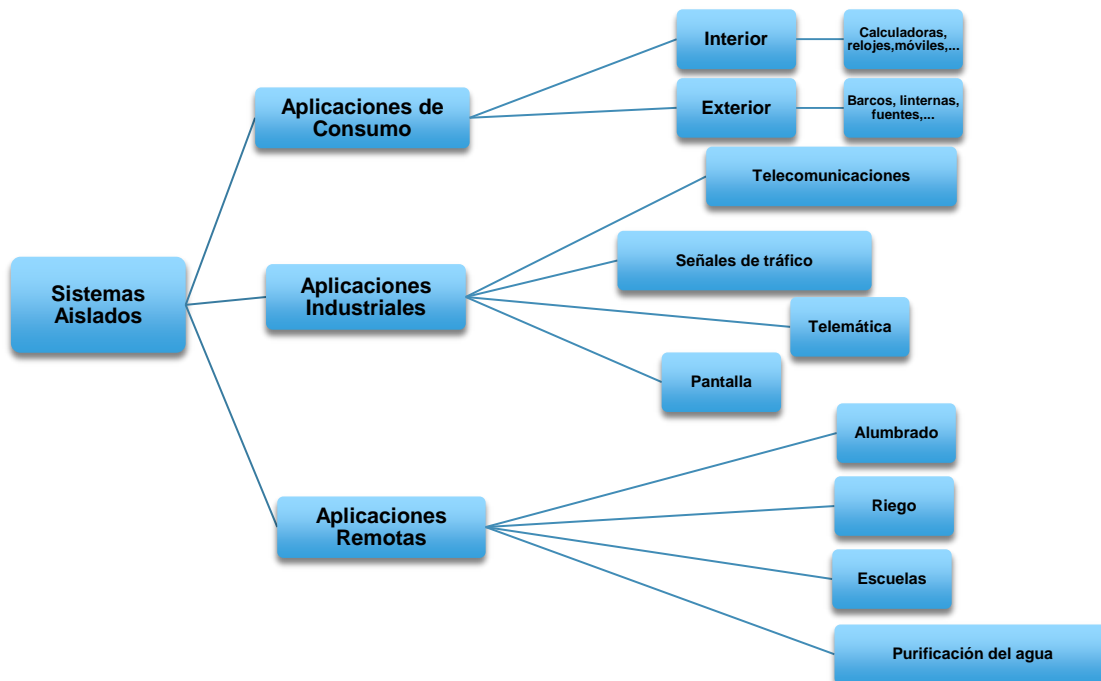


figura 2.16: Aplicación de la energía solar en sistemas aislados.

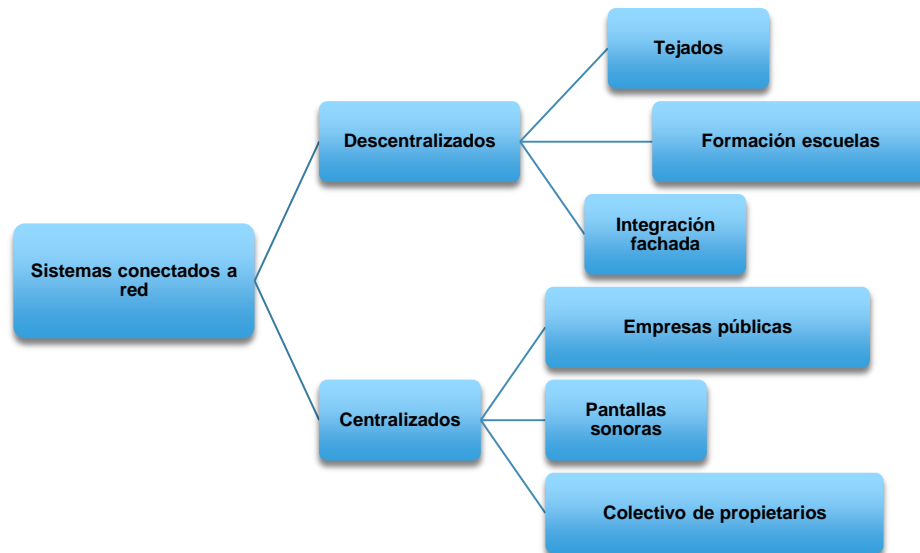


figura 2.17: Aplicación de la energía solar en sistemas conectados a red.

2.2.1.1. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS DE LA RED

El mayor uso de la energía eléctrica producida a partir de la conversión fotovoltaica es para cubrir la demanda eléctrica en lugares aislados de la red, donde pueden hacer competencia a los sistemas convencionales.

La complejidad de la configuración de los sistemas fotovoltaicos autónomos depende sobre todo de los tipos de consumo (DC o DC+AC) y de la existencia o no de almacenamiento. Hay que tener en cuenta que la incorporación de un inversor en el sistema fotovoltaico tiene como desventaja la disminución del rendimiento de operación del sistema a potencias inferiores a la potencia nominal del inversor. [19]

Los sistemas fotovoltaicos aislados se pueden clasificar en función de su aplicación:

- **Sistemas de electrificación:**

El suministro de energía para viviendas aisladas de la red tanto en países en vía de desarrollo como desarrollados es uno de los mercados con más demanda en la actualidad. Esta tecnología permite que casas aisladas o incluso pueblos enteros puedan generar su propia electricidad, sin la necesidad de un mantenimiento sofisticado o suministros regulares de combustible. También permite que pequeñas clínicas puedan operar con refrigeradores para vacunas, radios de emergencia y otras cargas críticas. La energía fotovoltaica puede cumplir las necesidades de cualquier estilo de vida incluso de una residencia con todo el confort de la vida moderna a la que estamos acostumbrados.

Los sistemas de iluminación exterior normalmente son sistemas descentralizados y de pequeño tamaño, cada punto de luz puede tener su propio generador, batería y control para proporcionar la máxima fiabilidad y flexibilidad. Estos sistemas suelen trabajar con un generador compuesto por uno o dos módulos.

- **Sistemas profesionales:**

Las **telecomunicaciones y aplicaciones profesionales** son uno de los mercados históricos de la energía fotovoltaica. Los equipos suelen trabajar en DC resultando simples y económicos, pero con el inconveniente de una fiabilidad crítica debida al bajo tiempo de fallos.

Como hemos citado en el punto 2.2.1, una de las principales ventajas de los sistemas fotovoltaicos es su modularidad, la cual nos permite alimentar desde el más pequeño de los sistemas de telemetría hasta el mayor de los repetidores microondas. También hay que destacar las aplicaciones para radiocomunicaciones en zonas rurales aisladas.

Los **sistemas de navegación** son otro gran mercado de los sistemas de energía fotovoltaica aislados. Uno de sus principales usos son las señales luminosas, las cuáles deben operar siempre independientemente de las condiciones meteorológicas.

Otras de las aplicaciones profesionales son los **sistemas de protección catódica**. Los metales en contacto con la Tierra sufren un proceso de corrosión natural como consecuencia de una reacción electroquímica que puede reducirse o anularse aplicando una corriente inversa a la corriente natural de corrosión. La reacción electroquímica involucra una corriente CC por lo que la energía solar fotovoltaica sería una solución perfecta.

- **Sistemas de Bombeo de agua:**

El bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica es una solución para el suministro de agua en granjas, para irrigación o para el suministro de agua potable. Estos sistemas son muy sencillos de usar y mantener ya que no requieren ni baterías ni suministro de combustible.

2.2.1.2. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA

El objetivo principal de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red es maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. [19]

Un sistema conectado a red se compone, fundamentalmente, de los módulos fotovoltaicos que integran el generador, el inversor y el contador de energía inyectada en la red. Estos sistemas tienen remunerada la generación de esta energía y permiten que con la expansión del mercado los precios puedan ir bajando. [20]

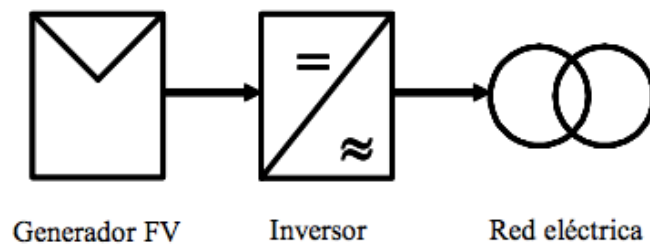


figura 2.18: Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

Las principales aplicaciones de estos sistemas son para:

- **Integración en edificios:**

Es una de las últimas aplicaciones desarrolladas para el uso de la energía fotovoltaica. La rápida evolución en los productos de este tipo ha permitido el uso de los módulos fotovoltaicos como material constructivo en cerramientos, cubiertas y fachadas. La integración arquitectónica consiste en combinar la doble función, como elemento constructivo y como generador de electricidad, de los módulos fotovoltaicos. Aun así también podemos encontrar generadores fotovoltaicos en las azoteas de los edificios, sin que se encuentren integrados en la construcción del edificio. [19]

- **Centrales fotovoltaicas:**

La instalación fotovoltaica funciona como una central convencional de generación de energía en el sentido de que inyecta toda la producción eléctrica a la red.

El elemento básico de una central fotovoltaica es el conjunto de células fotovoltaicas, que captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico. Están integradas, primero en módulos y luego se forman con ellos los paneles fotovoltaicos (1). Se tiene que tener en cuenta que la producción de electricidad de dichas células depende de las condiciones meteorológicas existentes en cada momento. Dichas condiciones son medidas y analizadas con la ayuda de una torre meteorológica (2).

Como la energía eléctrica que circula por la red de transporte lo hace en forma de corriente alterna, es necesario transformar la corriente continua generada en los paneles solares. Esta corriente continua es conducida, primeramente a un armario de corriente continua (4), para ser convertida en corriente alterna por medio de un inversor (5) y ser finalmente transportada a un armario de corriente alterna (6). Posteriormente, la energía eléctrica producida pasa por un centro de transformación (7) donde se adapta a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte (8) para su utilización en los centros de consumo. Todos los equipos de la central se supervisan desde la sala de control (3), en la que se recibe información de los distintos sistemas de la instalación. [21]

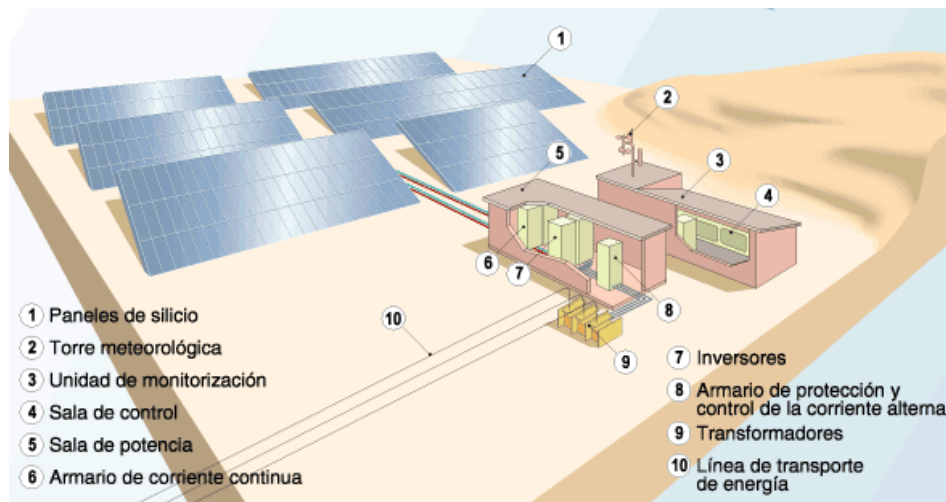


figura 2.19: Central fotovoltaica según UNESA.

- **Huertos solares:**

Recintos con instalaciones fotovoltaicas de diferentes titulares que comparten infraestructuras y servicios. El objetivo de todos los propietarios es vender la electricidad producida a la compañía eléctrica con la que se halla establecido el contrato. La ventaja de compartir un mismo espacio es que posibilita mejoras en el mantenimiento de las instalaciones y una vigilancia continuada.



figura 2.20: Huerto solar.

2.3. AEROTERMIA: BOMBA DE CALOR

Los sistemas de climatización son una de las principales fuentes de consumo energético doméstico en España, la búsqueda de la opción más eficiente es una necesidad. De esta búsqueda surge la Aerotermia.

La Aerotermia está incluida dentro del grupo de las energías procedentes de fuentes renovables según la **Directiva Europea 2009/28/CE**, a día de hoy continúa siendo una de las menos conocidas a pesar de sus grandes ventajas.

La **Aerotermia [10]** se define como:

“La energía almacenada en forma de calor en el aire”

El principal uso de esta tecnología es cubrir la demanda de calefacción, refrigeración y/o agua caliente sanitaria en los edificios, en nuestro trabajo la bomba aerotermica se utilizará para la refrigeración y calefacción de la vivienda.

Los sistemas de aerotermia son respetuosos con el medio ambiente, ya que parte de la energía la consigue del aire exterior. Todos los sistemas de recuperación del aire así como de todos los fluidos que se utilizan en estos sistemas no producen efectos negativos en la capa de ozono. También tenemos que añadir que la instalación de los equipos es sencilla y sin necesidad de chimeneas ni depósitos de combustible y con un mantenimiento escaso.

Las ventajas que presenta la aerotermia son:

- Es una energía natural, renovable e inagotable.
- No contamina.
- Alta rentabilidad: hasta un 75% de ahorro en la factura de la luz.

- Adaptable a casi todas las zonas climáticas del mundo.
- Tiene múltiples aplicaciones.

Haciendo referencia a una de las ventajas de esta tecnología, la aerotermia tiene distintas aplicaciones según la bomba que utilicemos. En el caso de emplear una **bomba de aire-aire**, su función consistirá en la climatización de viviendas, oficinas y pequeños locales. Si por el contrario se decide utilizar una **bomba aire-agua** se podrá aplicar para agua caliente sanitaria, piscinas climatizadas y suelo radiante.

El funcionamiento de la aerotermia consiste fundamentalmente en un intercambio de calor entre el sistema y el aire del entorno, esto se lleva al cabo a través de la bomba de calor aerotérmica.

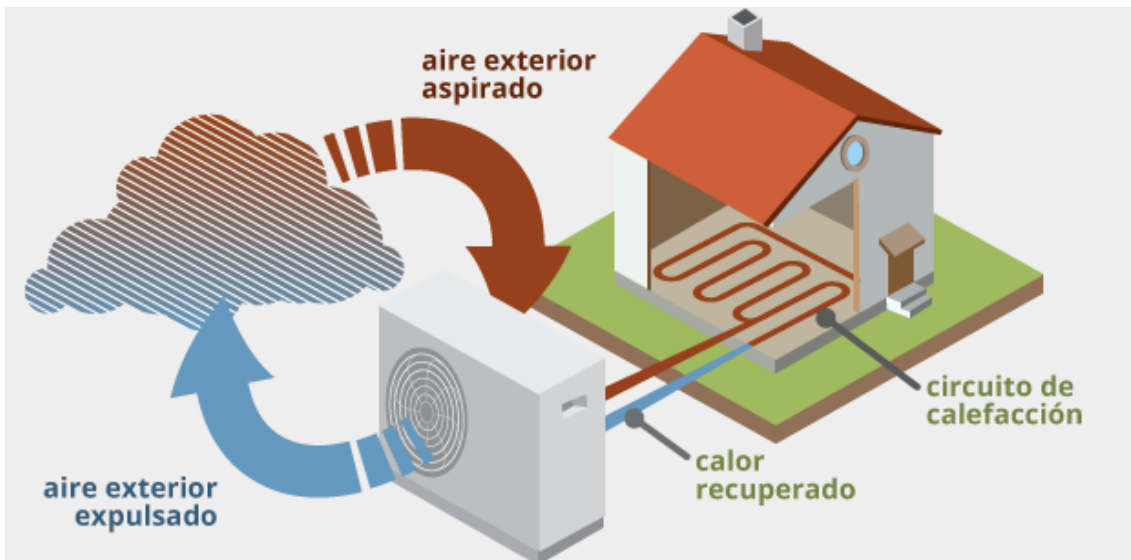


figura 2.21: Esquema de funcionamiento de la Aerotermia en una vivienda.

2.3.1. BOMBA DE CALOR

La **bomba de calor** es una máquina que se basa en un ciclo de refrigeración, consta de dos partes fundamentales, el foco frío y el foco caliente. [22]

La aplicación en climatización es:

- En **calefacción** (invierno): el foco caliente es el exterior y el foco frío es el interior de la vivienda.
- En **refrigeración** (verano): el foco caliente es el interior y el foco frío es el exterior.

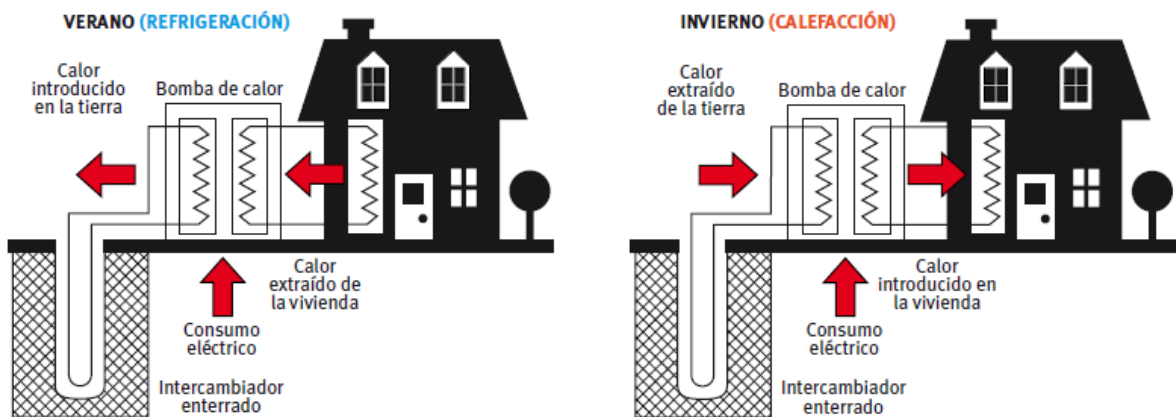


figura 2.22: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno según IDAE.

El funcionamiento de la bomba de calor comienza con el paso del fluido refrigerante por un **compresor**, que eleva su presión y aumenta con ello su temperatura. Una vez comprimido el fluido, pasa a un intercambiador de calor, llamado **condensador**, cediendo calor al foco caliente, ya que el fluido sale del compresor con mayor temperatura que el foco caliente.

A la salida del condensador atraviesa una **válvula de expansión**, provocando una caída de presión. Al disminuir la presión, el fluido se enfría bruscamente y comienza a evaporarse. En el **evaporador**, que hay después de la válvula de expansión, el fluido se evapora, absorbiendo calor del foco frío. El fluido evaporado regresa al compresor, cerrando el ciclo.

Se puede utilizar solo uno de los modos de frío o calor, pero lo realmente eficiente es usar ambos. Esto se consigue con una **bomba de calor reversible**.

En la siguiente figura podemos observar la disposición de los elementos y la dirección del fluido refrigerante en una bomba de este tipo.

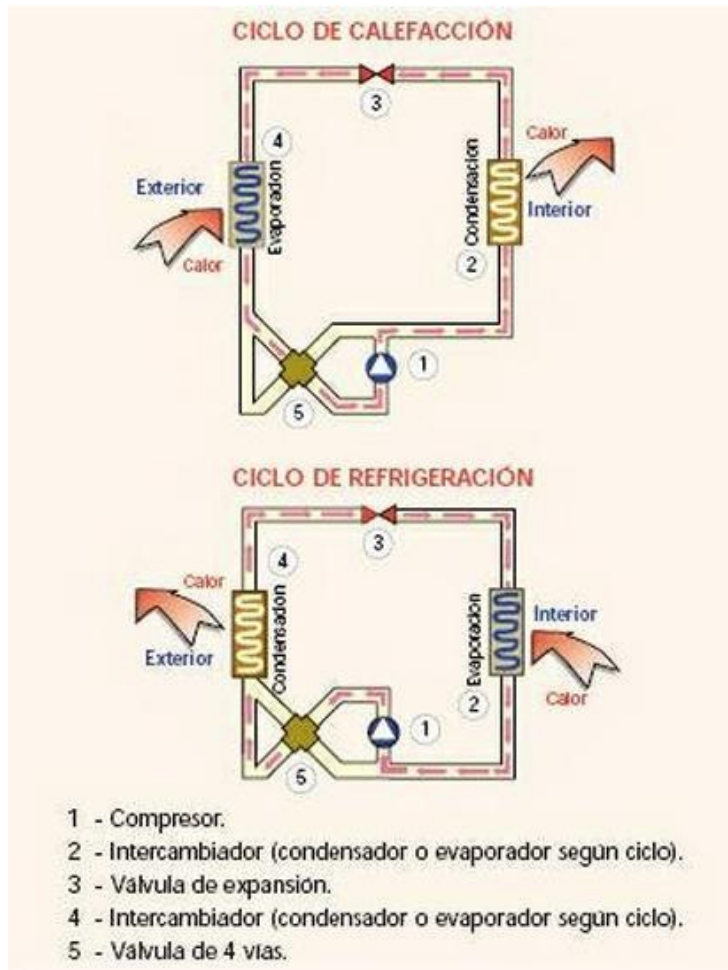


figura 2.23: Esquema del ciclo de una bomba de calor reversible.

Las bombas de calor pueden clasificarse según varios criterios:

Según el **medio con el que intercambian** el calor:

- **Aire - aire:** se intercambia el calor entre el aire de ambientes distintos, por ejemplo el interior y exterior de la casa. Puede producir calefacción y aire acondicionado.
- **Aire - agua:** se denomina así a la bomba de calor que intercambia calor con un circuito hidráulico, es decir, la que proporciona calefacción a un sistema de radiadores o suelo radiante. También sirve para calentar el agua de la red potable doméstica.

Según la **morfología** de la bomba:

- **Compactas:** todos los componentes están juntos en una única unidad.
- **Split:** los componentes se separan en una unidad interior y otra exterior, para evitar el ruido del compresor en el interior del local a climatizar.
- **Multisplit:** en el interior hay varias unidades para climatizar habitáculos diferentes.

Según la **funcionalidad**:

- **Reversibles**: pueden calefactar o refrigerar.
- **No reversibles**: sólo puede producir calor o frío.
- **Termofrigobombas**: producen ambos a la vez

Por último hay que resaltar que todas las bombas térmicas tienen tres coeficientes de rendimiento de la eficiencia energética: **[23]**

El **COP**: es la relación entre la potencia (kW) que sale de la bomba de calor como refrigeración o calor, y la potencia (kW) que suministra al compresor.

El **EER** (coeficiente de eficiencia energética en modo refrigeración): es la relación entre la capacidad frigorífica y la potencia efectivamente absorbida por la unidad.

El **SPF** (factor de rendimiento estacional) o factor de rendimiento del sistema Bomba de Calor: este término tiene en cuenta tanto el consumo de energía del sistema de la bomba de Calor como el consumo de los equipos periféricos, como las bombas, durante los meses del año en los que se utiliza la calefacción.

2.3.2. BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA

La **bomba de calor aerotérmica**, también llamada unidad exterior, es un generador de calor que no utiliza energía fósil, sino que absorbe y recupera la energía procedente del aire exterior y transfiere el calor al circuito evaporando el gas refrigerante que contiene. Consta de una unidad termodinámica instalada en el exterior que es la encargada de absorber la energía contenida en el aire y de un módulo hidráulico ubicado en el interior que cede al circuito de calefacción toda la energía recuperada por la unidad termodinámica. Desde la unidad interior el usuario puede controlar el trabajo que el sistema está realizando en los diferentes ámbitos.

A diferencia de la bomba de calor tradicional, la bomba de calor aerotérmica está diseñada y construida para obtener la máxima energía del aire exterior en condiciones climáticas muy severas.

La bomba de calor utilizada en aerotermia puede ser del tipo aire-aire o aire-agua:

- **Bomba de calor aire-aire**: se extrae el calor del aire exterior y se utiliza para calentar el aire interior de una o más habitaciones.
- **Bomba de calor aire-agua**: se obtiene el calor del aire exterior y se transmite el calor producido a un circuito de agua caliente (elevando o disminuyendo la temperatura). Esta transmisión de calor se lleva a cabo mediante un fluido refrigerante, impulsado por el compresor.

El proceso que se produce en la aerotermia se puede descomponer en 4 fases:

1. **El primer intercambio de calor:** El aire exterior entra en contacto con el evaporador a través de un serpentín y el refrigerante que se encuentra en su interior que se evapora al estar más frío que dicho aire.
2. El refrigerante evaporado se desplaza hacia el compresor donde se comprime, aumentando su temperatura.
3. **Segundo intercambio de calor:** El gas comprimido entra en el condensador, y al condensarse, libera calor que servirá para calentar el interior de la vivienda. El gas condensado se transforma en líquido refrigerante.
4. El refrigerante se desplaza hacia la válvula de expansión que baja su temperatura y la presión del refrigerante y lo devuelve al evaporador para reiniciar el proceso.

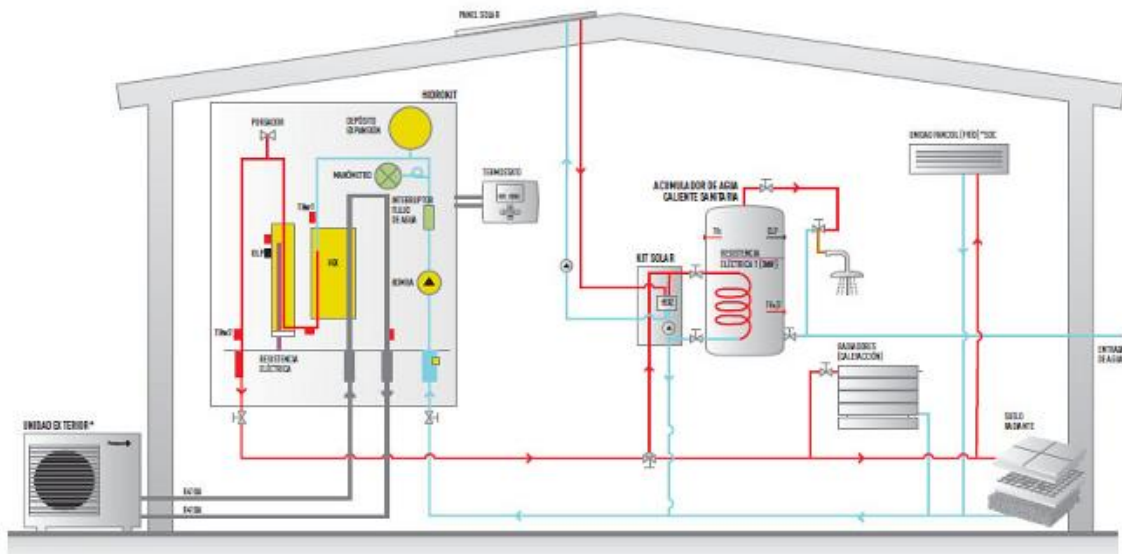


figura 2.24: Esquema de instalación de aerotermia en una vivienda.

2.4. AUTOCONSUMO

El autoconsumo fotovoltaico se define como la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles fotovoltaicos.

Existen diferentes tipos de autoconsumo según estemos o no conectados a la red eléctrica o si consumimos toda la electricidad generada o la exportamos, los tipos son:

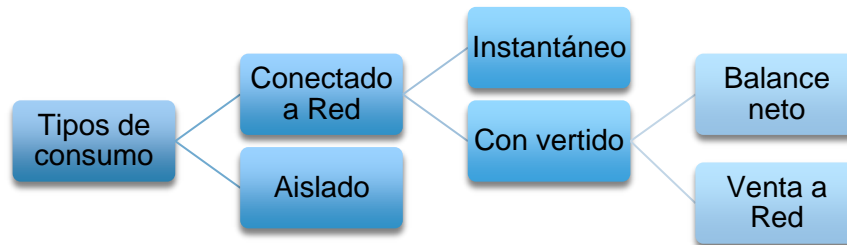


figura 2.25: Esquema tipos de autoconsumo

- **Conectado a Red:**

Se considera un autoconsumo conectado a Red cuando además de nuestra instalación renovable tenemos conectada la red de distribución de la compañía. La ventaja de este autoconsumo es que cuando no disponemos de energía propia, la podemos tomar de la red convencional evitándonos el uso de baterías de acumulado.

Dependiendo de si exportamos o no energía a la red de distribución, distinguimos entre:

- **Instantáneo:**

No se inyecta energía a la red, bien por un cuidadoso dimensionado de nuestra instalación generadora o por el uso de dispositivos electrónicos.

- **Con vertido:**

Enviamos a la red eléctrica los excedentes que tiene nuestra instalación. Este tipo de autoconsumo es el que más rentabilidad económica genera, siempre y cuando la normativa futura en la que se está trabajando sea favorable al consumidor. Los modelos que se están barajando a día de hoy para dicha normativa son:

- **Balance Neto:** No hay compensación económica sino un saldo de energía (kWh).
- **Venta a red:** El Estado fijará un precio para la energía que exportamos a la red.

- **Aislado:**

No estamos conectados a la red, por lo que somos totalmente autosuficientes. Es necesario el uso de baterías de acumulación.

2.5. HIBRIDACIÓN ENERGÉTICA

El objeto de este capítulo es desarrollar el concepto de la hibridación energética así como las distintas configuraciones posibles de los sistemas híbridos fotovoltaicos aislados, dentro de los cuáles está nuestro sistema a estudiar.

2.5.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de esta tecnología surge de la necesidad de ser autosuficiente debido al continuo aumento del precio del petróleo, a la elevada tarifa de las compañías energéticas tradicionales y a la inaccesibilidad a la red eléctrica. Cabe destacar que la bajada del coste de los sistemas fotovoltaicos en los últimos años también ha influido en el auge de la hibridación energética.

La **hibridación energética [24]** se define como:

“Combinación de dos fuentes o dos tecnologías energéticas distintas (de modo secuencial o simultáneo) de generación coordinadas, con el objetivo de alcanzar el máximo nivel de eficiencia.”

Esta generación puede ser tanto de origen renovable, como turbinas micro-hidráulicas, sistemas fotovoltaicos o aerogeneradores, como de origen fósil como por ejemplo generadores diésel. A este tipo de instalaciones se les puede añadir sistemas de almacenamiento como baterías o pilas de hidrógeno, lo que implicaría la necesidad de utilizar sistemas de control como los inversores.

Existen dos tipos de hibridación:

- **Combinación de varias fuentes** de energía.
- **Combinación de varias tecnologías** energéticas alimentadas con la misma fuente.

2.5.2. SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

La configuración seleccionada para el diseño de nuestro sistema híbrido fotovoltaico aislado con Aerotermia está compuesta por un generador fotovoltaico, un generador diésel, baterías, una bomba de calor (aerotermia) y los elementos pertinentes. Para aumentar la fiabilidad de nuestro sistema, en caso de que la irradiación solar no sea suficiente y las baterías estén agotadas, se ha añadido un generador diésel como fuente de apoyo. [25]

- **Hibridación Fotovoltaica + Diésel:**

La Hibridación Fotovoltaica + Diésel, con y sin almacenamiento de energía, es una de las más empleadas en la actualidad. En este tipo de hibridación tenemos dos fuentes generadoras (paneles fotovoltaicos y generador diésel). Al realizar dicha tecnología es necesario tener en cuenta la **penetración fotovoltaica**, la cual diferencia tres tipos de grados de implementación fotovoltaica.

Los grados de penetración fotovoltaica son:

- **Baja penetración fotovoltaica (<30% energía solar):**

Estos sistemas no requieren de un sistema de control adicional, ni de medición ni de comunicación. El generador diésel opera en todo momento pero gracias a la energía fotovoltaica se reduce la carga neta del generador. No compensa utilizar sistemas de almacenamiento.

- **Media penetración fotovoltaica (>30% y <100% de energía solar):**

Estos sistemas necesitan, al menos, un controlador simple para gestionar la energía.

- **Alta penetración (100% de energía solar):**

Estos sistemas precisan tanto de sistemas de almacenamiento de energía como de un sistema de control sofisticado. El sistema diésel se utiliza cuando las baterías se están cargando (Sistema de apoyo).

Existen diferentes configuraciones [26] dentro de la hibridación fotovoltaica aislada con generador diésel, las cuáles se exponen a continuación:

➤ **Sistema Híbrido fotovoltaico aislado con acoplamiento CC:**

Esta configuración es la más tradicional de todas y fue de las primeras en utilizarse. Consta de los siguientes elementos: generador fotovoltaico, generador de respaldo, cargador de baterías, banco de baterías, inversor aislado y consumo.

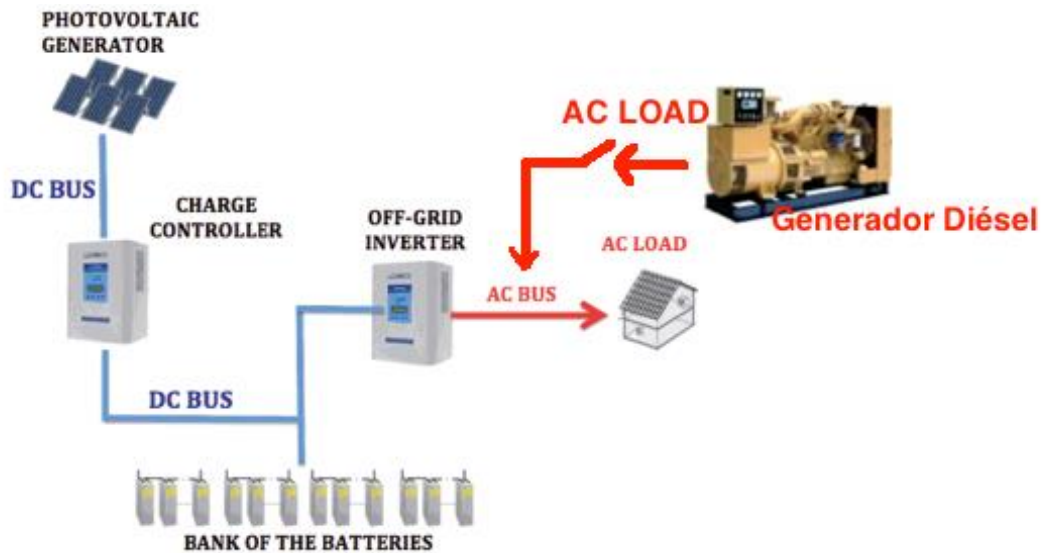


figura 2.26: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CC con generador diésel.

Como puede observarse en la figura el bus cc es común para todos los elementos excepto para el consumo que requiere de CA. Por ello, es necesario un controlador de carga y un inversor aislado. El funcionamiento de dicho sistema comienza con la incidencia de la radiación solar sobre los módulos fotovoltaicos generando energía eléctrica en CC, la cual está controlada por el regulador y cargará el banco. Mientras que las baterías estén cargadas se alimentará las cargas de corriente alterna, previa transformación a través del inversor aislado. El regulador se encargará de evitar daños en las baterías controlando que no haya sobrecargas o sobredescargas. [26]

➤ **Sistema Híbrido fotovoltaico aislado con acoplamiento CA:**

En esta configuración el elemento más destacado es el inversor bidireccional, el cual trabaja como inversor, transformando la CC en CA, y como rectificador, transformando la energía en CA en CC.



figura 2.27: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CA con generador diésel.

El funcionamiento de este sistema comienza con la radiación solar incidiendo sobre los módulos fotovoltaicos generando energía eléctrica en CC que es inmediatamente transformada a CA mediante un inversor de conexión a red. El bus de CA que alimenta las cargas es transformado mediante la función rectificadora del inverso bidireccional en un bus de CC para recargar las baterías cuando exista un exceso energético. Cuando la demanda energética no pueda ser satisfecha por el generador fotovoltaico entrarán en juego las baterías que alimentarán las cargas de CA, previamente la energía procedente de las baterías es transformada a CA por el inversor bidireccional. Cuando tanto las baterías como el generador fotovoltaico no puedan generar energía entrará en funcionamiento el generador de apoyo diésel.

Tenemos que tener en cuenta que en ningún momento se permite un retorno energético hacia el generador diésel ni operar simultáneamente, el generador diésel y el inversor bidireccional actuando como inversor aislado. [26]

➤ Sistema Híbrido fotovoltaico aislado con acoplamiento mixto:

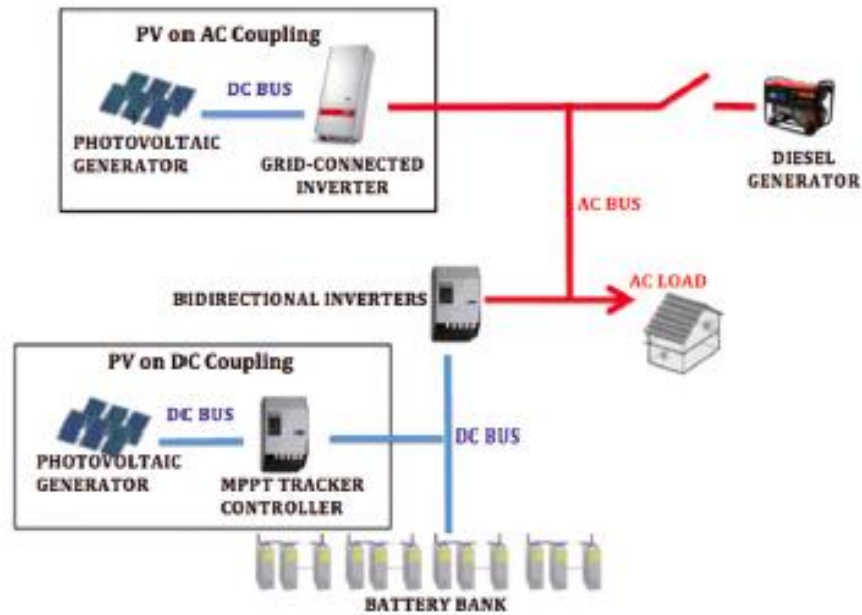


figura 2.28: Configuración de la hibridación en acoplamiento mixto (CC y CA) con generador diésel.

Este sistema resulta de la combinación de las dos configuraciones anteriores (CC y CA), lo cual permite tener una mayor eficiencia energética. Cuando el sistema necesite cargar las baterías o consumir la energía acumulada en el banco de baterías se utilizará la configuración en CC, mientras que cuando se necesite gestionar la energía procedente de los módulos fotovoltaicos se utilizará la configuración en CA. [27]

En esta configuración la gestión energética se realiza a través de un gestor externo que nos permita gestionar los consumos, entre otras cosas.

2.6. DISPOSITIVOS DE LOS SISTEMAS AISLADOS FOTOVOLTAICOS

En este capítulo se explican los principales elementos de nuestro sistema fotovoltaico híbrido aislado.

Sistema híbrido aislado con aerotermia: módulos fotovoltaicos + baterías + inversor bidireccional

2.6.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los **módulos fotovoltaicos [28]** se definen como:

“Conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la irradiación solar que incide sobre ellos.”

Antes de comenzar a profundizar en los módulos fotovoltaicos se requiere puntualizar en el concepto de célula fotovoltaica.

La definición de **célula fotovoltaica [28]** es:

“Dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica.”

El principio de funcionamiento de la célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse entre sí, produciendo una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material.

La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen, las cuáles son:

- **Corriente de iluminación:** debida a la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph}=IL$$

- **Corriente de oscuridad:** debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

$$I_d(V)= I_0[\exp eV/K*T_c -1]$$

Los fotones serán los que formaran, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y, debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada. [29]

Las células fotovoltaicas están construidas a partir de una oblea de material semiconductor como el silicio, de un espesor aproximado de entre 100 y 500 μm , en la que se ha difundido boro (región P) y sobre la que se difunde una capa muy fina, de 0,2 a 0,5 μm , de fósforo (región N), para obtener la unión PN. Para aumentar el rendimiento de la célula, la cara recibe la irradiación solar se somete a un proceso llamado **texturización**, que crea micropirámides superficiales para reducir la reflexión en la superficie de la célula. Sobre esta superficie se dispone una rejilla metálica que proporciona una buena conexión eléctrica dejando al descubierto la mayor cantidad posible de superficie receptora de la luz solar. Esto se consigue disponiendo láminas metálicas en forma de peine, muy finas, con anchuras que van de 20 a 150 μm según la técnica de implantación utilizada.

La rejilla descrita es el **terminal negativo** de la célula, el **terminal positivo** se consigue con la metalización de la cara posterior. La célula se completa depositando una capa antirreflexiva en la cara frontal que facilita la absorción de fotones. [29]

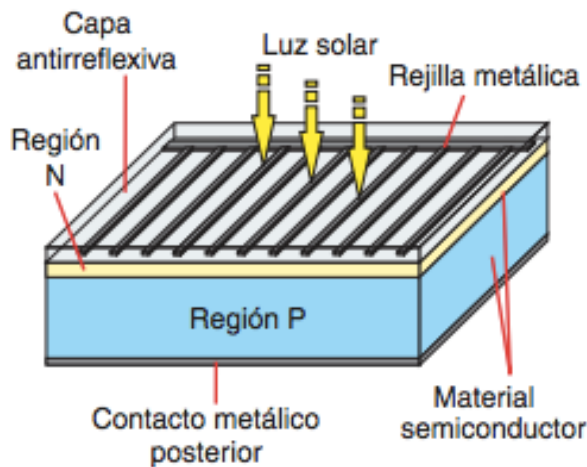


figura 2.29: Estructura básica de una célula solar.

Los módulos solares se caracterizan por la tecnología de fabricación de sus células solares, fabricadas mediante la cristalización del silicio que puede ser de tres tipos:

- **Silicio monocristalino:** Estructura cristalina uniforme. Compuesto por silicio puro fundido con boro. Se fabrica en lingotes cilíndricos de gran pureza que se cortan en obleas. A pesar de gastar mucha energía en su fabricación, es el más empleado debido a su alto rendimiento.



figura 2.30: Silicio monocristalino.

- **Silicio policristalino:** Estructura cristalina no uniforme. Compuesto por silicio puro dopado con boro. Se fabrica en moldes rectangulares. Tiene un coste menor que el silicio monocristalino debido a un menor rendimiento y a la simplificación del proceso de fabricación.



figura 2.31: Silicio policristalino.

- **Silicio amorfo:** Estructura no cristalina. Se fabrica mediante la condensación de vapor de silicio, permite depositar una capa muy fina en muchos tipos de soportes, incluso flexibles. Su potencia se degrada con el tiempo de utilización. Bajo coste de fabricación debido a su bajo rendimiento a partir de cierto número de horas de funcionamiento.



figura 2.32: Silicio amorfo.

Una vez profundizado en las células fotovoltaicas, podemos volver al concepto inicial, los módulos fotovoltaicos.

La mayoría de los módulos fotovoltaicos están compuestos entre 36 y 96 células conectadas en serie. En algunos casos pueden incluir la conexión en paralelo de grupos de células conectadas en serie, para obtener la potencia deseada para la instalación en la que se van a montar. Además, hay que proporcionar al conjunto de células una protección frente a los agentes atmosféricos, un aislamiento eléctrico adecuado y una consistencia mecánica que permita su manipulación práctica.

Los módulos fotovoltaicos [29] están compuestos por:

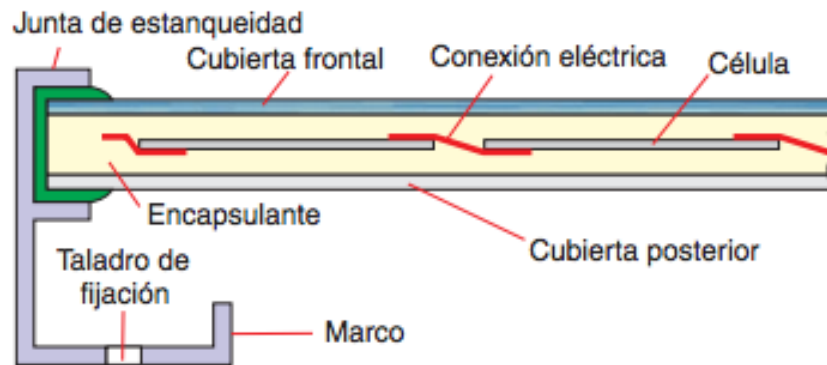


figura 2.33: Detalle seccionado de un módulo fotovoltaico.

- **Cubierta frontal:** Suele ser de vidrio templado de entre 3 y 4 mm de espesor, con muy buena transmisión de la radiación solar, proporciona protección contra los agentes atmosféricos y los impactos. La superficie exterior del vidrio es antirreflexiva y está tratada para impedir la retención del polvo y la suciedad. La superficie interior generalmente es rugosa, lo que permite una buena adherencia con el encapsulante de las células, además de facilitar la penetración de la radiación solar
- **Encapsulante:** En la mayoría de los módulos se emplea etil-vinil-acetato (EVA). En contacto directo con las células, protege las conexiones entre las mismas y aporta resistencia contra vibraciones e impactos. Además proporciona el acoplamiento con la cubierta frontal y la protección posterior. Al igual que la cubierta frontal, permite la transmisión de la radiación solar y no se degrada con la radiación ultravioleta.
- **Cubierta posterior:** Se utiliza una capa de polivinilo fluoruro (PVF, comercialmente denominado TEDLAR) o de poliéster. Junto con la cubierta frontal, protege al módulo de la humedad y otros agentes atmosféricos y lo aísla eléctricamente. De naturaleza opaca, es habitual que sea de color blanco para reflejar la luz solar que no recogen las células sobre la cara posterior rugosa de la cubierta frontal, que la refleja de nuevo hacia las células. Algunos fabricantes ponen esta cubierta de vidrio para aprovechar la radiación solar reflejada que puede recogerse por la parte posterior del módulo. Para ello las células solares incluyen capas de silicio amorfo que recoge esta radiación.
- **Marco:** La mayoría de los fabricantes utilizan aluminio anodizado. Proporciona rigidez y resistencia mecánica al módulo, además de un sistema de fijación. Puede incorporar una conexión para la toma de tierra. Nunca se debe mecanizar, porque las vibraciones pueden romper el cristal de la cubierta frontal.

- Conexiones:** Situadas en la parte posterior del módulo, habitualmente consiste en una caja con una protección recomendada contra el polvo y el agua IP-65, fabricada con materiales plásticos resistentes a las temperaturas elevadas, que en su interior incorpora los bornes de conexión positivo y negativo del módulo y los diodos de paso (diodos by-pass). El uso de prensaestopas para el paso de cables mantiene la protección contra el polvo y el agua. Otra forma de conexionado, el fabricante suministra el módulo fotovoltaico con dos cables, finalizados con conectores, diferentes para el positivo y negativo, con la longitud suficiente para permitir una rápida conexión serie entre paneles consecutivos.

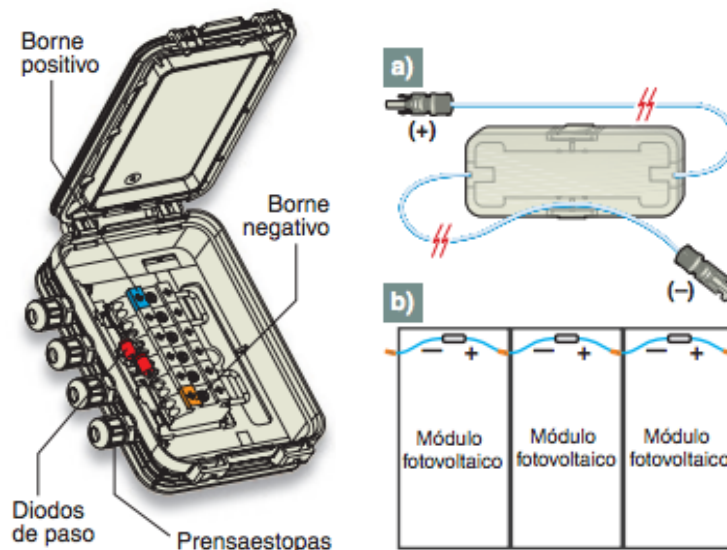


figura 2.34 (izquierda): Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico.

figura 2.35 (derecha): sistema de conexión con conectores: a) detalle de la caja y los cables. b) Conexión de módulos en serie.

- Células:** El conexionado de las células de un módulo fotovoltaico se realiza con cintas metálicas soldadas o incrustadas sobre la rejilla de conexión eléctrica de la cara frontal de cada célula. La interconexión entre células (figura 1.36) se realiza uniendo las cintas de la cara frontal (negativo) de una célula con la cara posterior (positivo) de la célula siguiente.

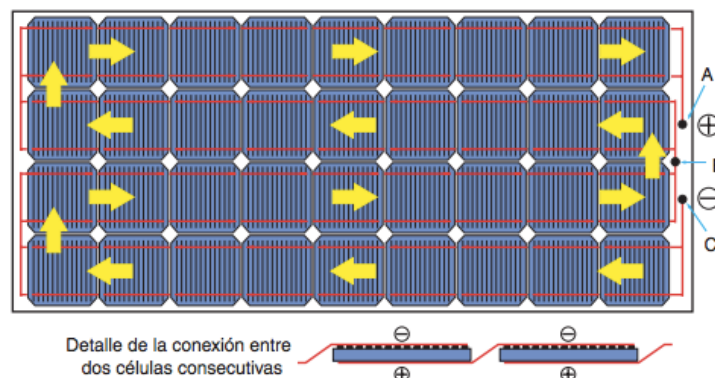


figura 2.36 Conexión de las células de un módulo fotovoltaico de silicio monocristalino.

La figura 2.36 muestra el conexionado de un módulo de 36 células conectadas en serie. El principio y el final de la cadena de células en serie finaliza en los puntos A y C que representan los terminales positivo y negativo de la caja de conexiones situada en la parte posterior del módulo. El punto B representa al terminal que permite la conexión de los diodos de paso, también situados en la caja de conexiones (figura 2.34) y cuya función se explica más adelante en esta unidad.

Los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico tienen una relación directa con los parámetros de sus células y con la cantidad y el conexionado serie-paralelo de las mismas. Los parámetros fundamentales que hay que tener en cuenta a la hora de trabajar con módulos solares son los siguientes:

- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}):** Es el valor en voltios de la tensión que proporcionará el panel cuando esté trabajando en el valor de potencia P_{mpp} .
- **Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{mpp}):** Es el valor de la corriente proporcionada por el panel cuando se encuentra en el punto de máxima potencia.
- **Intensidad de cortocircuito (I_{sc}):** Intensidad de salida de módulo fotovoltaico en cortocircuito a una irradiancia y temperatura determinadas.
- **Tensión en circuito abierto (V_{oc}):** Tensión en los terminales de conexión cuando no hay ninguna carga conectada al panel.

Es importante también tener siempre presente la curva I-V o curva de potencia del módulo fotovoltaico que proporciona cada fabricante en sus hojas de características.

2.6.2. BATERÍAS

Se define **batería [30]** como:

“Dispositivo formado por una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad”

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos tienen dos objetivos:

- Suministrar potencia instantánea o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aún en los momentos más favorables posibles.
- Mantener un nivel de tensión estable: La tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona un voltaje estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa.



Los parámetros fundamentales en cualquier batería son:

- **Voltaje o Tensión:**

La tensión es la magnitud física que impulsa a los electrones a través de un circuito eléctrico cerrado provocando el flujo de una corriente eléctrica.

El valor de V que nos da el fabricante es un valor nominal, cuando la batería está completamente cargada este valor estará por encima y a medida que se vaya descargando irá disminuyendo hasta estar bastante por debajo del valor nominal.

- **Eficiencia de la batería:**

Relación entre la energía utilizada para cargar la batería y la energía que se consigue almacenar. Cuanto mayor sea dicha eficiencia menor energía se perderá.

- **Eficiencia de la carga:**

Relación existente entre la energía utilizada para cargar la batería y la energía que se consigue almacenar. Cuanto mayor sea dicha eficiencia menor energía se pierde.

- **Capacidad de carga o de almacenamiento (Ah):**

La capacidad de una batería, Ct es la cantidad de amperios-hora que se puede obtener de la batería, si se descarga a corriente constante durante un tiempo t .

La capacidad nominal, resulta del producto de la corriente constante de descarga, In y el tiempo de descarga, tn .

$$Ctn=In \cdot tn$$

La capacidad nominal está influenciada por la temperatura, es decir, la temperatura hace aumentar o disminuir dicha capacidad nominal según lo que haga la temperatura. Otros parámetros que influyen en la capacidad nominal de las baterías son la geometría, la tensión límite de descarga y la corriente de descarga.

- **Capacidad de descarga (A):**

Corriente que es capaz de dar la batería sin degradarse o quemarse.

La capacidad nominal en un tiempo de descarga t viene proporcionada por el fabricante y se suele referir a 10 horas y a 100 horas de descarga para baterías solares y en 20 horas para baterías de arranque.

Existen muchos tipos de baterías pero según su aplicación se usan unas u otras. En los sistemas fotovoltaicos las más usadas son las baterías de Plomo-ácido y Niquel-Cadmio. Debido a su bajo coste las más utilizadas son las baterías de Plomo-ácido aunque las baterías Niquel-Cadmio se utilizan en aplicaciones profesionales donde se tienen grandes presupuestos.

En una **batería de Plomo-ácido [31]** el electrolito interviene en forma activa en el proceso electroquímico, variando la proporción de ácido en la solución con el estado de carga del acumulador. Cuando la batería está descargada, la cantidad de ácido en la solución disminuye. Si la batería está cargada, la cantidad de ácido en la solución aumenta. Este mecanismo tiene una derivación práctica: monitoreando la concentración del ácido se puede determinar el estado de carga de la batería.

Las baterías Plomo-ácido se pueden subdividir teniendo en cuenta distintos criterios de selección. En este caso nos interesa únicamente, la clasificación según su aplicación:

- **Baterías de arranque:** Suministran una gran intensidad de corriente en pocos segundos y puede resistir profundidades de descarga no mayores del 10-20%. Utilizadas principalmente en el sector de arranque para la automoción.
- **Baterías de tracción:** suministran cantidades relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, soportando un elevado número de ciclos profundos de carga y descarga. Utilizadas en vehículos eléctricos.
- **Baterías estacionarias:** este tipo están constantemente siendo cargadas para compensar la pérdida de capacidad debido a la autodescarga. Están construidas para resistir descargas profundas esporádicas. Principalmente se utilizan en los sistemas de alimentación ininterrumpida.

Las baterías que vamos a utilizar en nuestro sistema fotovoltaico híbrido aislado son las **baterías estacionarias de Plomo-ácido**. La vida de las baterías no es infinita, con el paso del tiempo las baterías envejecen. La duración de estas depende en gran parte de la calidad de fabricación y del uso correcto de las mismas. Algunos procesos de envejecimiento son reversibles, como la estratificación del electrolito. Sin embargo, hay otros procesos que suceden por el paso de los años como la **sulfatación**, que se produce por las descargas excesivas, y la **corrosión**.

2.6.3. REGULADORES

En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos autónomos con baterías es necesario un sistema de regulación de carga.

El **regulador de carga [31]** se define como:

“Dispositivo encargado de controlar constantemente el estado de carga de las baterías así como de regular la intensidad de carga.”



figura 2.37: Regulador

El objetivo de un regulador de carga en un sistema fotovoltaico aislado con baterías es realizar un proceso óptimo de carga de la batería, permitiendo la carga completa pero evitando las sobrecargas y las sobredescargas. La estrategia de control del regulador de carga tiene un papel fundamental en el proceso, ya que aunque inicialmente el coste del regulador de carga supone un 5% del presupuesto, su funcionamiento tiene una gran influencia en la vida útil de la batería y por tanto en el coste final del sistema.

Los reguladores no solo regulan la carga y descarga de los acumuladores energéticos sino que también monitorizan y registran los datos de funcionamiento lo que permite regular la tensión en función de la temperatura y realizar el seguimiento de punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. Dichos dispositivos trabajan mediante el control de la tensión, utilizando los datos obtenido en la medición de tensión en bornes de la batería.

Existen tres tipos de reguladores de carga [19] según su método de control utilizado para regular la carga procedente de los módulos solares:

- **Reguladores paralelos:**

Este tipo de reguladores al tener un coste bajo y una alta fiabilidad son perfectos para pequeñas instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red. Su funcionamiento es por disipación de exceso de energía a través de un transistor o MOSFET en paralelo con el generador y el banco de baterías. Cuando la tensión de la batería está por encima de un valor determinado, el dispositivo regula la corriente procedente del generador fotovoltaico, manteniendo la tensión en un valor equivalente a carga de mantenimiento o flotación, la cual permite una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía de los módulos.

Al llegar al límite máximo de descarga el regulador se corta el bus que conecta los acumuladores energéticos con la cargas de AC.

La principal desventaja es que una vez que se alcanza el voltaje de regulación por sobrecarga, el generador fotovoltaico se cortocircuita a través del dispositivo de regulación con los consecuentes problemas de disipación de energía y calentamiento.

Se diferencian tres tipos de reguladores paralelos:

- **Control paralelo (On/Off):** El generador fotovoltaico es desconectado cuando las baterías alcanza su límite máximo de carga. Normalmente se utilizan en sistema con corrientes inferior a 20 A por problemas de disipación de calor.
- **Control paralelo lineal (diodo zener):** Se utiliza un elemento de control para mantener la carga de la batería entre sus límites. Se instala en paralelo con la batería un diodo Zener con un voltaje de polarización inversa igual a la tensión de carga máxima de la batería. Cuando la batería alcanza dicho valor el diodo conduce, desviando tanta corriente como sea necesario para mantener al sistema en carga flotante.
- **Control PWM paralelo,** con dispositivos de alta frecuencia en los que se varía el tiempo de conmutación para controlar la corriente que de carga a la batería, manteniéndola a valores muy próximos al límite de carga , reduciéndose los problemas de disipación de calor.

- **Reguladores en serie:**

Su función principal es desconectar el panel de las baterías cuando se logra el estado de plena carga, por el contrario, cuando las baterías alcanzan el límite mínimo de carga el interruptor restablece la conexión con el generador fotovoltaico conectándolo de nuevo a las baterías.

Los reguladores serie utiliza diversas técnicas de control:

- **Control serie simple (On/Off):** El regulador de carga corta el consumo si la tensión de la batería alcanza un valor mínimo de carga y si por el contrario la batería alcanza un valor de carga máxima, el regulador abre el bus de corriente que sale de generador fotovoltaico.
- **Control serie, dos estados:** Similar al control serie simple exceptuando que la regulación del voltaje final de carga ocurre a dos voltajes.
- **Control serie lineal:** Se aplica una tensión constante a medida que la batería se aproxima a la tensión límite de sobrecarga utilizando un elemento de control serie que actúa como una resistencia variable que disipa el excedente energético que no se usa para la carga de la batería.
- **Control por modulación PWM:** Se aplican pulsos de corriente a frecuencia variable de modo que la batería recibe un voltaje de carga constante del generador.
- **Control multietapa:** Esta metodología de control se utiliza en grandes sistemas en los que el generador fotovoltaico completo se divide en varios sub-generadores que se conectan o desconectan gradualmente para hacer decrecer la corriente de carga cuando la batería se aproxima al límite de carga máximo.

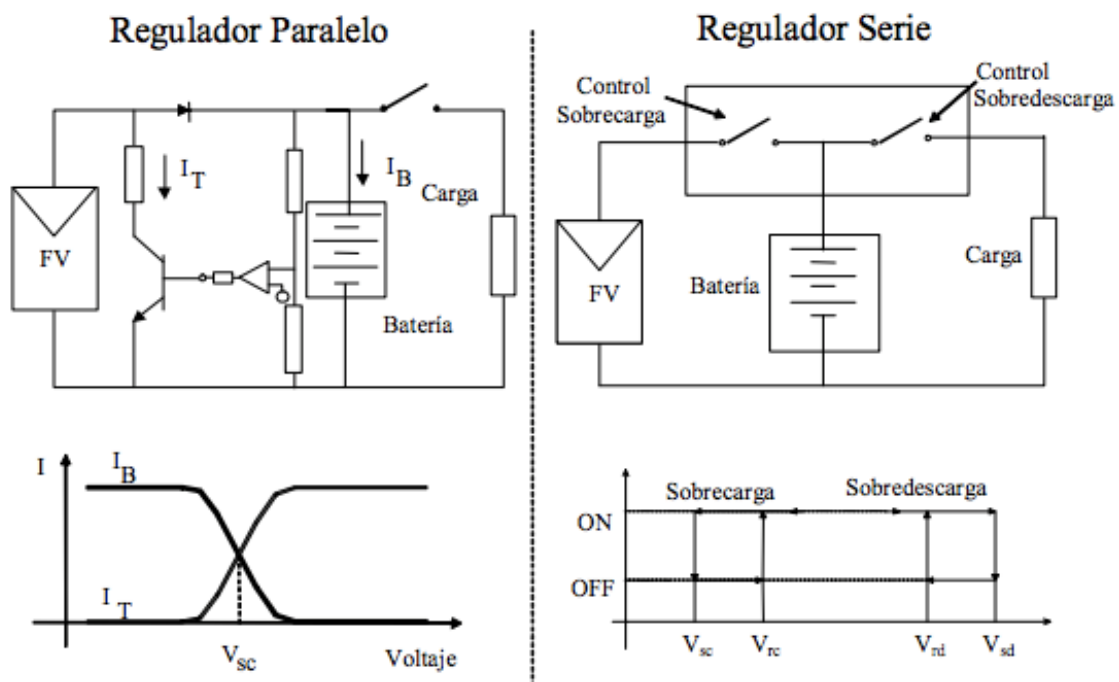


Figura 2.38: Esquema básico de los reguladores series y paralelo según CIEMAT.

2.6.4. INVERSORES

El **inversor [32]** se define como:

“Dispositivo electrónico de potencia cuya función es transformar la corriente continua en corriente alterna, con una magnitud y una frecuencia determinadas.”

La función de los inversores es convertir la tensión continua generada por el generador fotovoltaico, batería o aporte de energía desde un grupo electrógeno, en tensión monofásica o trifásica alterna, sinusoidal pura, adecuada para ser utilizada como red de energía eléctrica.

Los inversores pueden ser monofásicos o trifásicos a 50hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponible, desde unos pocos vatios hasta varios megavatios. Pueden operar conectados a baterías o directamente al generador FV y pueden estar conectados a diferentes consumos o inyectar energía en la red eléctrica.

Antes de elegir un inversor para un sistema se debe observar que tiene una alta eficiencia, es decir, que puede trabajar en un amplio espectro de potencias. Es importante buscar un inversor que tenga una alta resistencia a los picos de arranque de las cargas AC que contenga motor, como es el caso de los frigoríficos, que esté protegido contra los cortocircuitos, que regule correctamente la tensión y la frecuencia a la salida, que sea seguro y por último que cuando no haya cargas conectadas tenga un bajo consumo en vacío. [33]

Las principales características que deben considerarse para el dimensionamiento del inversor son:

- La tensión de entrada
- Máxima potencia que puede manejar.
- Margen de sobrecarga permisible.
- Potencia, tensión y forma de la onda de la salida
- Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia.
- Eficiencia de transformación (generalmente cercana al 85%)

Existen tres clases de inversores [19]:

- **Inversores aislados:**

Este tipo de inversores no necesitan sincronizarse con ningún bus de CA. Es necesario tener en cuenta las siguientes características a la hora de elegir un inversor para un sistema híbrido aislado:

- Precisión de la tensión de salida.
- Potencia de arranque.
- Rendimiento a potencias bajas.
- Consumo y precisión del dispositivo de espera.

Se distinguen los siguientes tipos de inversores aislados:

- **Inversores de onda cuadrada:** Tienen un coste inferior a los demás pero también son menos eficientes. Produce demasiados armónicos que generan interferencias y pérdidas de potencia.
- **Inversores de onda sinusoidal modificada:** Son más sofisticados y caros, utilizan técnicas de modulación de ancho de pulso. La salida no es auténtica sinusoidal pero se aproxima. Menor contenido armónico que las cuadradas.
- **Inversores de onda sinusoidal:** Poseen el mejor rendimiento de los tres pero su alto precio impide que se utilicen siempre. Su onda sinusoidal está diseñada para reproducir la energía suministrada por las compañías eléctricas por lo que son los más adecuados para alimentar equipos electrónicos sofisticados.

- **Inversores de conexión a red:**

Estos inversores requieren de una red en el lado de corriente alterna para poder sincronizarse. Se suelen utilizar en sistemas aislados donde la corriente alterna procede del banco de baterías o del generador diésel.

El coste de estos inversores es bastante bajo comparándolo con otros, debido a que utilizan una tecnología muy madura que consigue reducir pérdidas mediante la reducción de elementos.

El inversor trabaja con el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, el cual varía en función de las condiciones climatológicas. Por ello, es importante que el inversor ofrezca un buen rendimiento de seguimiento para convertir siempre la máxima potencia solar. El rendimiento de ajuste indica que se ajusta el inversor al punto de máxima potencia en cada situación.

$$\eta_{\text{seguimiento}} = \frac{P_{FV}}{P_{MPM}}$$

Dónde:

P_{FV} = Potencia a la salida del generador fotovoltaico (W).

P_{MPM} = Potencia máxima del generador fotovoltaico (W).

El rendimiento de transformación del inversor de conexión de red representa las pérdidas que tienen lugar durante la transformación de corriente CC corriente CA. Estas pérdidas se producen en el transformador, en los conductores y las debidas al propio consumo para el control y regulación.

$$\eta_{\text{transformación}} = \frac{P_{\text{inv}}}{P_{\text{FV}}}$$

Dónde:

P_{inv} = Potencia activa a la salida del inversor (W).

P_{FV} = Potencia a la salida del generador fotovoltaico (W)

El rendimiento estático normalmente lo proporciona el fabricante. Se calcula a partir del producto del rendimiento de transformación y del rendimiento de seguimiento:

$$\eta_{\text{inv}} = \eta_{\text{transformación}} \cdot \eta_{\text{seguimiento}}$$

- **Inversores bidireccionales:**

Los inversores funcionan tanto como un **rectificador**, transformando la corriente alterna en corriente continua y por tanto funcionando como cargador de baterías, como un **inversor aislado**, transformando la corriente continua en alterna. Esta característica es por la que recibe el nombre de inversor/cargador.

Existen diferentes topologías según su etapa de potencia: con transformador de alta o baja frecuencia.

Los inversores bidireccionales tienen dos entradas una de corriente continua, para las baterías, y otra de corriente alterna que se podrá conectar tanto al generador diésel o a la red eléctrica. Ambas posibilidades serán tratadas en el apartado de simulaciones del proyecto.

Cuando el inversor está conectado a la red puede presentar tres tipos de funcionamiento: Autoconsumo, Aislado y back-up, este último no es posible para los sistemas híbridos aislados.

- **Autoconsumo:** Hay dos situaciones posibles: la primera, la energía generada es mayor que la demandada, este exceso se utiliza para cargar las baterías o se inyecta en la red (sistema conectado a red), en caso de que las baterías estén completamente cargadas. La segunda, la demanda es superior a la energía generada por los módulos fotovoltaicos, lo que implica que las baterías se encarguen de satisfacer esta demanda.
- **Aislado:** Genera una corriente continua. La fuente auxiliar, generador diésel en nuestro sistema, solo se conecta cuando el estado de la carga de las baterías es inferior a un determinado nivel.

2.6.5. GENERADOR DIÉSEL DE CORRIENTE ALTERNA

El **generador diésel** se define como:

“Generador de corriente alterna que convierte la energía mecánica en eléctrica.”



figura 2.39: Generador diésel.

Su funcionamiento comienza con la quema de combustible fósil para generar un movimiento que mediante el cigüeñal es transferido al alternador transformando la energía mecánica derivada de la combustión en energía eléctrica. El estrangulador y el gobernador del generador estabilizan la velocidad del motor estandarizando el suministro de energía eléctrica. Cuando el motor gira, el cigüeñal que lo une con el generador, es hilado por una cámara que contiene electromagnetos. Debido a este movimiento a alta velocidad se produce la corriente eléctrica.

Dentro de los sistemas renovables aislados, el generador diésel funciona como un sistema de apoyo para cubrir la demanda energética junto con el resto de elementos del sistema. En nuestro sistema fotovoltaico híbrido aislado su función consiste en cargar las baterías cuando el generador fotovoltaico no pueda recargarlas, evitando la interrupción del suministro eléctrico.

2.7. PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA SISTEMAS HÍBRIDOS

En el presente trabajo hemos utilizado la versión 2.2 del software **iHoga** (improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms), versión mejorada del antiguo HOGA [34], con esta herramienta generaremos los elementos que compondrán nuestro sistema y realizaremos la posterior comparativa a través de los informes obtenidos.

El software iHoga ha sido creado por el Doctor Rodolfo Dufo López del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza. Esta herramienta informática utiliza algoritmos genéticos [1] para optimizar sistemas muy complejos en tiempos de cálculo muy bajos, desarrollada en C++ para la simulación y optimización de Sistemas Híbridos de Energías Renovables de generación de energía eléctrica (DC y/o AC) y/o Hidrógeno. También puede simular y optimizar sistemas conectados a la red, con o sin consumo propio, lo cual nos permitirá realizar una comparativa entre nuestro sistema híbrido aislado y un sistema de alimentación fósil.

En cuanto a la **optimización**, el programa se encarga tanto de la combinación de elementos como el control del sistema basándose en dos estrategias básicas de control logrando optimizar hasta 12 variables:

- Seguimiento de la demanda (load following)
- Carga cíclica (cycle charging)

El objetivo de dicha optimización es conseguir la minimización de los costes totales del sistema a lo largo de su vida útil, trasladados o actualizados al momento inicial de la inversión (Valor Actual Neto, VAN) [35]. También permite buscar la minimización o maximizar los beneficios a través de otras variables como por ejemplo las emisiones de CO₂, la Energía No servida, la creación de empleo,...etc; con el único inconveniente de no encontrar una única solución.

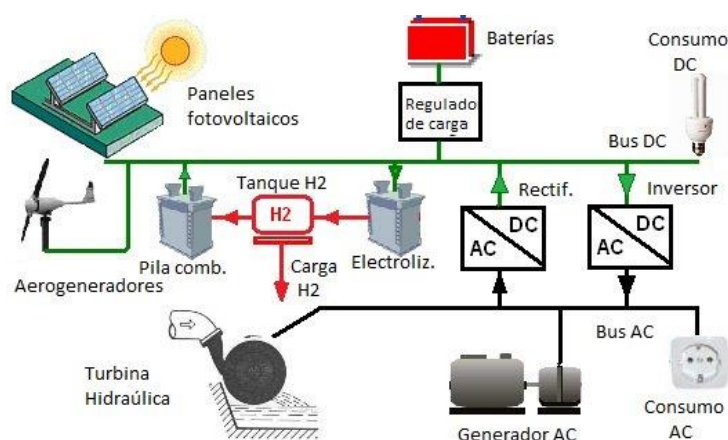


figura 2.40: Ejemplo de un sistema híbrido diseñado con iHoga.



Los elementos que pueden formar el sistema híbrido son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbina hidráulica, pila de combustible, tanque de H₂ y electrolizador, además de baterías, regulador de carga de las baterías, inversor (convertor DC/AC), rectificador (convertor AC/DC) y generador AC (que en general será una fuente no renovable si el combustible no lo es). Existe la posibilidad de poder crear un sistema con todos estos elementos pero en la mayoría de los casos reales es necesario excluir alguno.

Las cargas del sistema pueden ser:

- Cargas eléctricas en corriente alterna.
- Cargas eléctricas en corriente continua.
- Cargas de Hidrógeno.
- Consumo de agua procedente de un depósito de abastecimiento.

El programa también incluye la posibilidad de vender energía eléctrica AC a la red (la energía sobrante que no se ha consumido en el sistema), comprar la energía no servida por las fuentes renovables a la red AC, vender el hidrógeno sobrante producido en el electrolizador y almacenado en el tanque. Esta herramienta contiene la posibilidad de simular las distintas modalidades de Balance neto: energético, económico, por períodos horarios... incluyendo los distintos borradores del real decreto de autoconsumo en España. **[36]**

3. ESTUDIO PREVIO

En este apartado se recopila toda la información previa necesaria antes de empezar a diseñar nuestro sistema híbrido aislado y el posterior análisis comparativo, el cual lo realizaremos con el software iHoga.

Los puntos a tratar son los datos que se mantendrán fijos en ambos sistemas: *la situación de la vivienda, la demanda energética y la radiación solar.*

3.1. SITUACIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda sobre la que se realiza el estudio está situada en el municipio de Santa Cruz de Pinares perteneciente a la provincia de Ávila, en la Comunidad Autónoma de Castilla y León. El municipio cuenta con una superficie de 41.37 km² y una población de 163 habitantes según datos oficiales del INE de 2010.

Este pequeño municipio tiene una extensa sierra con manantiales naturales, un frondoso encinar con ejemplares centenarios a las afueras del área urbana, así como una presa artificial que abastece de agua a otros pueblos de la comarca de Los Pinares: el Herradón y San Bartolomé.

El terreno donde se encuentra la vivienda (40°32'14.5"N 4°35'15.4"W):

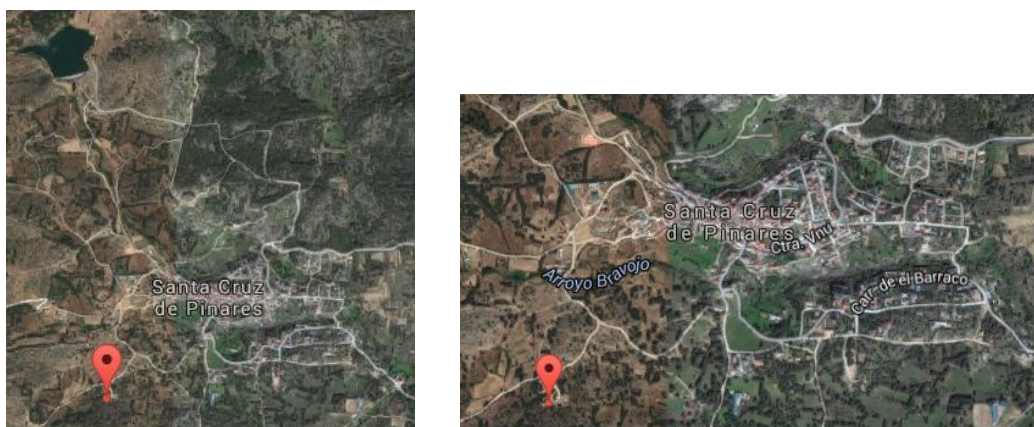


figura 3.1: Localización de la vivienda.

La vivienda tiene forma de rectángulo y posee un gran terreno alrededor de la misma, como podemos apreciar en las imágenes nuestra vivienda está bastante alejada del área urbana. Por ello, es lógico que a priori se descarte la opción de construir una instalación de tendido eléctrico exclusivamente para esta vivienda.

3.2 DEMANDA ENERGÉTICA

El auge de los sistemas híbridos aislados en viviendas unifamiliares es consecuencia del aumento del consumo doméstico, un 15% de la energía total producida.

La función principal de nuestro sistema es abastecer la demanda energética de la vivienda, lo que implica que cuanto mejor sea dicha estimación mejores resultados obtendremos. Calcular la demanda energética de una vivienda no es nada sencillo, ya que no sólo depende de la potencia consumida por las cargas sino también de múltiples factores que no están bajo nuestro control: número de personas que habitan dicha vivienda, sus hábitos y la capacidad para administrar la energía disponible.

El objetivo de este capítulo consiste en estimar la energía media diaria consumida por el sistema, la cual se hallará a través del software iHoga. Previamente a usar dicha herramienta, se explicará la manera de estimar el consumo energético de una vivienda sin la necesidad de usar ningún software.

La **energía media diaria consumida** se expresa:

$$E_D \left(\frac{Wh}{día} \right) = \sum_i P_i \cdot h_i$$

Donde,

E_D = Energía media diaria consumida por el sistema

P_i = Potencia alterna de la carga i en W.

h_i = Horas diarias de funcionamiento de la carga i .

Dentro de este consumo se incluye el servicio de energía eléctrica en distintas aplicaciones (iluminación, lavadora, frigorífico,... etc). Tenemos que tener en cuenta que en nuestro sistema, la instalación de calefacción tradicional ha sido sustituida por una bomba de calor aerotérmica que funciona como un sistema de caldera para agua sanitaria y un sistema de calefacción y refrigeración. Todos los electrodomésticos de nuestra vivienda tienen la máxima categoría del nuevo etiquetado energético [5], favoreciendo de esta manera la eficiencia energética.

Tabla 3.1: Tabla de consumo

CARGAS	CANTIDAD	POTENCIA (W)	Nº horas diarias	Wh/día
Frigorífico	1	90	24	2160
Microondas	1	920	0,1	92
Lavadora	1	1500	1	1500
Horno eléctrico	1	1900	0,1	190
Vitrocerámica	1	2000	0,5	1000
Plancha	1	1500	0,2	300
Televisión	1	150	3	450
Bombilla cocina	2	75	5	375
Bombilla salón	2	75	4	300
Bombilla baño	1	75	2	150
Bombilla dormitorio	2	75	2	150
Autoconsumo regulador	1	1	24	24
Autoconsumo inversor	1	2	24	48
Bomba de calor aerotérmica	1	1189	3	3567

Consumo diario (E_D) = 10.306 Wh/ día

Consumo diario con un margen de seguridad del 20% (E_{Ds})= 12.367,2 Wh/ día

Una vez obtenido el consumo medio diario con un 20% de margen de seguridad, debemos incluir los rendimientos de la batería y del inversor, ya que influirá en la energía necesaria final. Normalmente, para un correcto dimensionado se elige un rendimiento de la batería del 95%, un 90% para el inversor y un 100% para los conductores. Con todo esto, podemos calcular el consumo medio diario real a través de la siguiente expresión:

$$E_D = \frac{E_{D,DC} + \frac{E_{D,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{conduct}}$$

$E_{D,DC}$ = Consumo medio de energía diaria de las cargas en corriente continua.

$E_{D,AC}$ = Consumo medio de energía diaria de las cargas en corriente alterna.

Por tanto el consumo diario real estimado teniendo en cuenta los consumos de alterna, consumos de continua y los rendimientos es de:

Consumo diario real (E_D) = 14.464,56 Wh/ día

Una vez hallado el consumo medio diario real podemos comprobar que es un poco superior al nominal, esto era de esperar ya que en el consumo real se tienen en cuenta las pérdidas generadas por algunos elementos y el margen de seguridad del 20%.

El diseño del sistema fotovoltaico híbrido aislado se realiza con la versión educativa del software ihoga, esta versión tiene como inconveniente que limita el consumo diario a **10KWh/día**. Esto supone que aproximaremos nuestro consumo medio diario al límite de la herramienta. Los datos de consumo, hallados anteriormente, los utilizaremos de referencia para los parámetros necesarios de la herramienta durante la realización del consumo diario.

En conclusión, el consumo medio diario estimado para la vivienda es:

$$\text{Consumo diario estimado (E}_p\text{)} = 10.000 \text{ Wh/ día}$$

A continuación, se explica la estimación del consumo diario mediante el software iHoga [1]. Los pasos a seguir, una vez abierto el programa y seleccionado la pestaña CONSUMO/RED, son los siguientes:

- **Completar la tabla del consumo de las cargas de corriente alterna** en W, en valores horarios para cada mes. El estudio realizado anteriormente es de gran ayuda para completar esta tabla.

CARGAS AC (W)	CARGAS DC (W)															CONSUMO H2 (kg)	CONSUMO AGUA DE DEPÓSITO (PREVIAM. BOMBEADA)	COMPRA / VENTA E
Mes	0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h		
ENERO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	121	
FEBRERO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	121	
MARZO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	111	
ABRIL	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	121	
MAYO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	121	
JUNIO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	131	
JULIO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	131	
AGOSTO	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	131	
SEPTIEMBRE	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	131	
OCTUBRE	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	121	
NOVIEMBRE	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	130	
DICIEMBRE	93	93	93	93	93	93	93	642	93	93	93	93	93	93	93	1218	130	

figura 3.2: Tabla de consumo software iHoga.

- **Introducir el factor de escala** para poder diferenciar entre el consumo entre semana y el consumo de fin de semana, ya que en una vivienda real es imposible que el consumo energético sea constante todos los días del año. El factor de escala elegido para los días entre semana es el definido y para los fines de semana aumenta un 20%, por lo que el factor de escala es de un 1,2. La herramienta multiplica el factor de escala seleccionado a los valores que se hayan colocado en la tabla de las 24h para todos los meses del año.

- **Rellenar el porcentaje de aleatoriedad** del consumo para las cargas alternas, tanto diariamente como para cada hora. La variabilidad diaria escogida es de un $\pm 5\%$ y la variabilidad horaria es de un $\pm 2\%$, teniendo en cuenta estos valores el programa calculará de forma aleatoria el consumo para cada hora.

Aleatoriedad del Consumo						
	AC		DC		H2	
Variabilidad diaria	5	%	0	%	0	%
Variabilidad horaria	2	%	0	%	0	%

figura 3.3: Tabla de aleatoriedad del consumo software iHoga.

- **Seleccionar el factor de potencia de las cargas AC**, en nuestro estudio se ha escogido un factor de potencia de 0,8 por ser un valor medio de las cargas consumidas en la vivienda.

Tras aplicar todos los valores anteriores en nuestro consumo, podemos visualizar la gráfica del consumo medio por día graficado en potencia frente a horas. En esta grafica podemos observar que los picos de consumo coinciden con las horas cuando más movimiento hay en la vivienda.

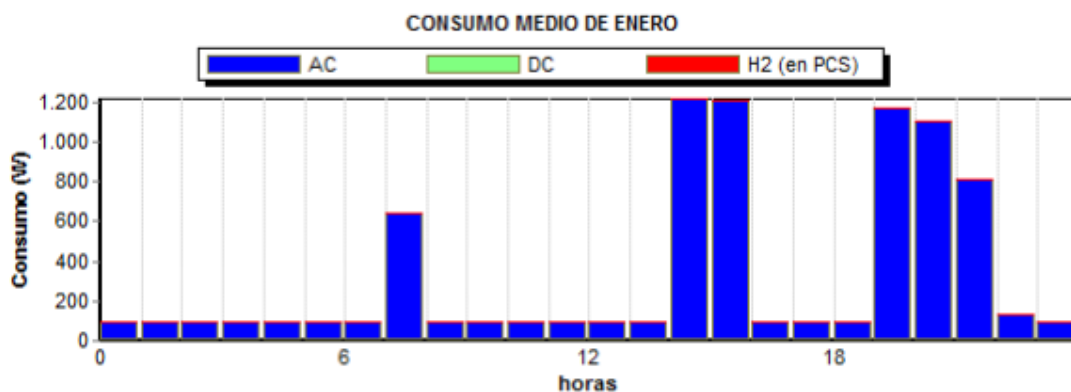


figura 3.4: Consumo medio diario durante el mes de enero.

Si comparamos las gráfica del consumo medio diario de enero (figura 3.4) con la del mes de julio (figura 3.5) podemos observar que los consumos tienen sentido comparándolos con la vida real de una persona cualquiera, ya que de manera generalizada durante los meses de verano se trabajan menos horas que en los de invierno.

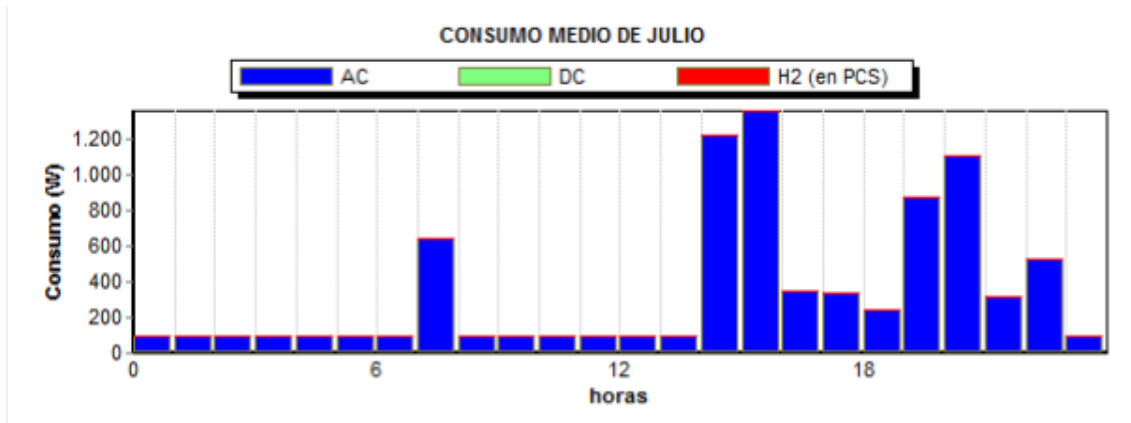


figura 3.5: Consumo medio diario en horas durante el mes de julio.

En la siguiente gráfica se observa la aplicación de los valores de variabilidad y aleatoriedad. En ella, se visualiza la curva de consumo para los 7 días de la semana observando que en los días 1 y 2 de Enero, fin de semana, el consumo es mayor que con respecto a los siguientes días de la semana.

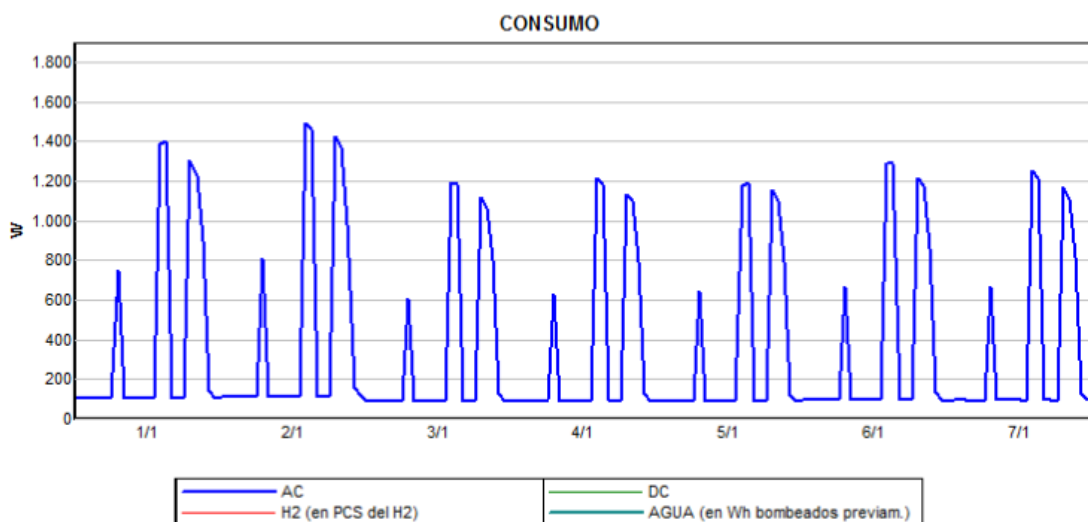


figura 3.6: Consumo energético de 7 días.

3.3. RADIACIÓN SOLAR

El objetivo de este capítulo es hallar el valor medio mensual de la irradiación diaria para el estudio del sistema. Este recurso energético tiene una alta importancia en nuestro trabajo, ya que es necesario para el desarrollo y el dimensionado del sistema.

La **radiación solar [37]** se define como:

“La energía recibida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas”

Es importante para el desarrollo del capítulo saber la diferencia entre irradiancia e irradiación. A continuación las definiciones de ambos términos:

La **Irradiancia [38]** se define como:

“La densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m².”

La **Irradiación [38]** se define como:

“La energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo. Se mide en MJ/m² o kWh/m².”

A continuación, se explica el procedimiento en el estudio de la radiación solar en el lugar de nuestra vivienda. Los pasos a seguir, una vez abierto el programa y seleccionado la pestaña IRRADIACIÓN, son los siguientes:

* Obtener el **valor medio mensual de la irradiación diaria sobre una superficie horizontal (G_{dm}) [KWh/m²/día]**. Para ello, introducimos en el software las coordenadas en latitud y longitud de la localización de nuestra vivienda. A continuación, introducimos en los campos de cada mes el valor correspondiente de la irradiación en una superficie horizontal. En caso de no tener los valores medios mensuales de la irradiación, el propio software te redirige a la página de la NASA donde se muestran los datos medios mensuales de la localización que hemos indicado al principio.

Tabla 3.2: Tabla de la radiación solar media mensual en una superficie horizontal.

MES	MEDIA MENSUAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL [KWh/m ² /día]
ENERO	2,01
FEBRERO	2,93
MARZO	4,24
ABRIL	5,14
MAYO	5,99
JUNIO	7,08
JULIO	7,2
AGOSTO	6,27
SEPTIEMBRE	4,79
OCTUBRE	3,13
NOVIEMBRE	2,16
DICIEMBRE	1,71

* El siguiente punto es obtener el **valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano generador orientado de forma óptima ($G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$) [KWh/m²]**. Antes de comenzar, haremos una breve introducción a tres términos de gran importancia en este punto.

Orientación óptima es cuando podemos maximizar la energía colectada en un período.

Ángulo de azimut (α_{opt}): Ángulo medido entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. En caso de no tener seguimiento solar, como en nuestro sistema, el azimut tendrá los valores óptimos especificados a continuación:

- **Módulos fotovoltaicos orientados al sur:**
 - Hemisferio norte: 0°, paneles mirando hacia el sur.
 - Hemisferio Sur: 180°, paneles mirando hacia el norte.

Ángulo de inclinación (β_{opt}): Ángulo entre la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es de 0° para módulos horizontales y 90° para módulos verticales.

En nuestro caso, los paneles fotovoltaicos no requieren estar en un lugar en concreto. Por ello, tenemos total libertad para colocar los paneles con los ángulos de inclinación y azimut óptimos.

Para obtener los datos de valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano orientado de forma óptima, el software nos pide que indiquemos si los paneles fotovoltaicos van a tener **seguimiento solar** o no. En nuestro caso no hay seguimiento, lo que implica que el valor del **ángulo azimut es 0°**, el óptimo en el hemisferio norte, y el **ángulo de inclinación** lo calculará el **propio software** para obtener la máxima captación de luz solar. La herramienta iHoga calcula la inclinación óptima para cada mes con el objetivo de maximizar la producción en el mes de menor irradiación (en España, diciembre). En caso de que el consumo, sea aproximadamente igual durante todo el año, se elegirá la inclinación óptima para el mes de menor irradiación sobre la superficie horizontal. [1]

Una vez introducidos los datos de azimut e inclinación óptima, el programa genera los valores horarios de irradiación sobre la superficie inclinada de los paneles. En la siguiente imagen (figura 3.7), se observa la interfaz del cálculo de irradiación horaria para todos los días del año donde aparecen los valores de irradiación media diaria y total anual sobre superficie horizontal y sobre la superficie inclinada de los paneles.

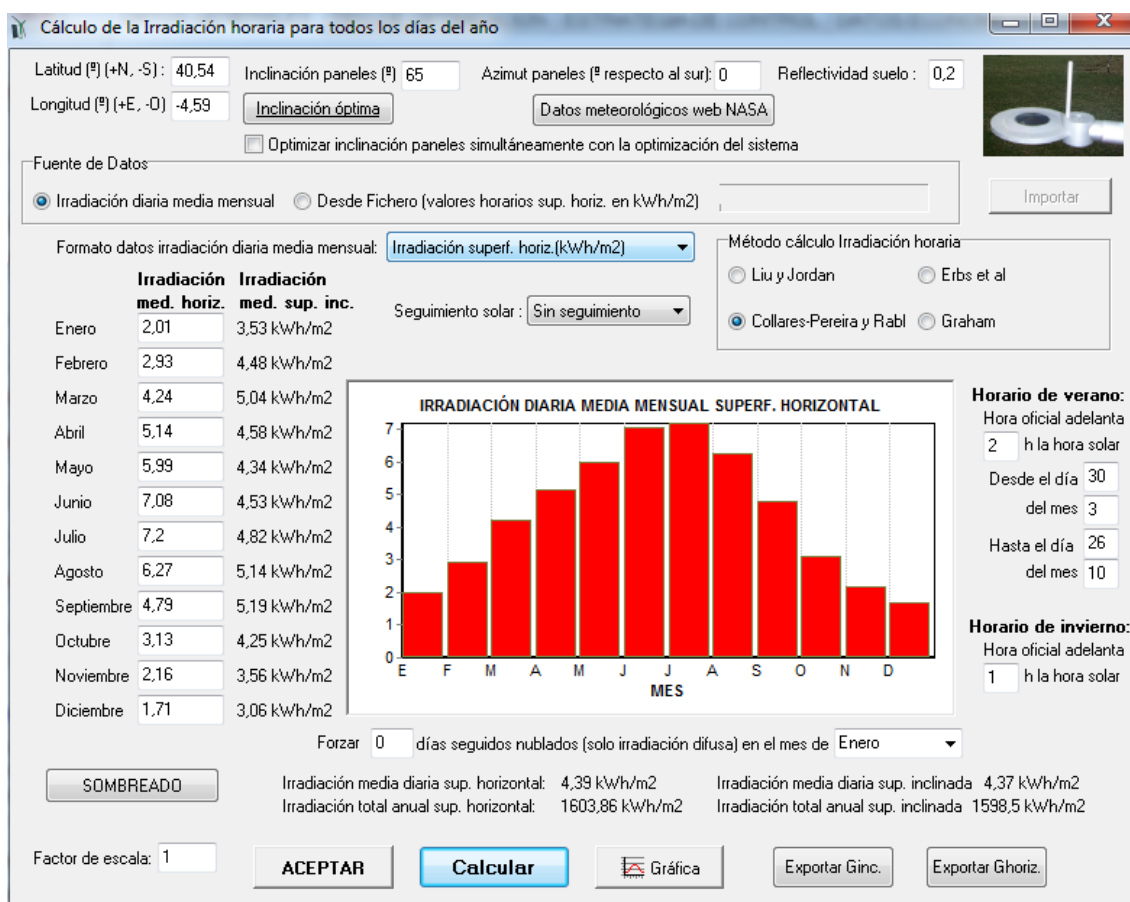


figura 3.7: Interfaz software iHoga.

En la gráfica (figura 3.8) se representa la irradiación anual tanto en la superficie horizontal (rojo) como sobre la superficie inclinada (verde).

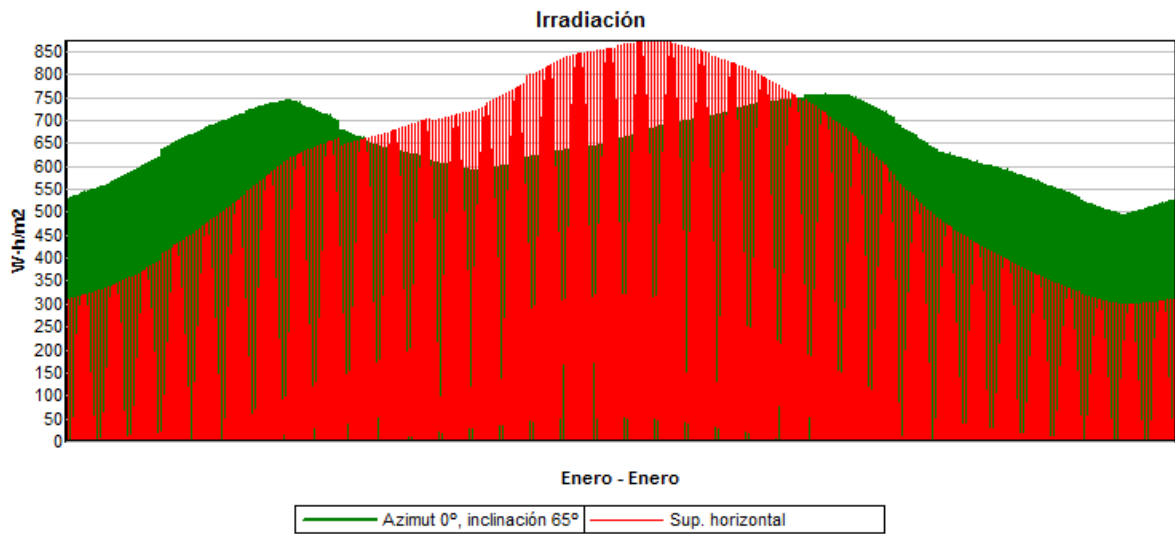


figura 3.8: Irradiación anual superficie horizontal frente a superficie inclinada.

Por último, en la tabla (tabla 3.3) se hace un resumen con los datos de irradiación solar media sobre una superficie horizontal (G_{dm}) y los datos de valor medio mensual de irradiación sobre el plano del generador orientado ($G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$).

Tabla 3.3: Resumen valores medios mensuales de la irradiación solar sobre una superficie horizontal y sobre una superficie inclinada.

MES	MEDIA MENSUAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL [KWh/m2/día]	MEDIA MENSUAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA [KWh/m2]
ENERO	2,01	3,53
FEBRERO	2,93	4,48
MARZO	4,24	5,04
ABRIL	5,14	4,58
MAYO	5,99	4,34
JUNIO	7,08	4,53
JULIO	7,2	4,82
AGOSTO	6,27	5,14
SEPTIEMBRE	4,79	5,19
OCTUBRE	3,13	4,25
NOVIEMBRE	2,16	3,56
DICIEMBRE	1,71	3,06



4. SIMULACIONES

En este capítulo se lleva al cabo el objetivo del proyecto, comparar los dos sistemas para decidir cuál es la opción más rentable. Para lograr dicho objetivo, se necesita encontrar la combinación perfecta de componentes, estrategias de control y optimización que hagan del dimensionado una solución viable.

Las simulaciones de cada sistema se realizan con el software iHoga donde primeramente introducimos los parámetros fijos para los dos sistemas, demanda energética e irradiación, calculados en el capítulo 3. El propio software realiza una simulación para el caso más óptimo, de esta manera podremos realizar la comparativa de ambos sistemas.

Tras las simulaciones se realiza tanto un estudio energético como un estudio económico para llegar a la decisión final.

Los sistemas a estudiar son:

- Sistema híbrido fotovoltaico aislado con aerotermia (Módulos fotovoltaicos + baterías + inversor bidireccional + generador diésel + bomba de calor aerotérmica)
- Sistema conectado a red.

4.1. SISTEMA HÍBRIDO AISLADO CON AEROTERMIA

El primer sistema a estudiar es el sistema híbrido aislado con aerotermia, que consta de unos módulos fotovoltaicos conectados a unas baterías, una bomba de calor aerotérmica incluida dentro de la demanda energética y un generador diésel de apoyo.

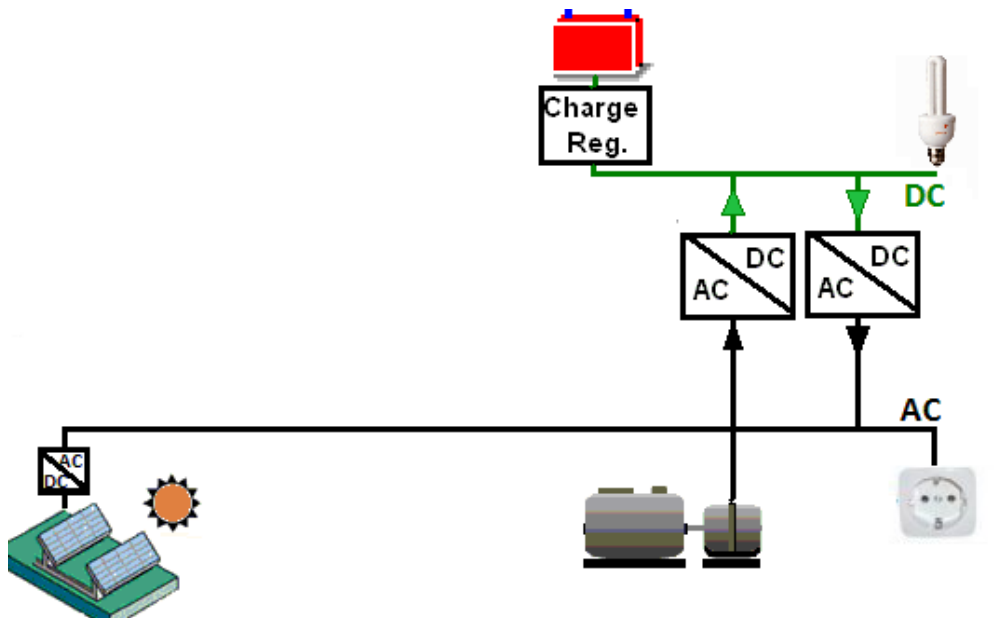


figura 4.1: Esquema sistema híbrido aislado según iHoga.

El funcionamiento de este sistema, tal y como se comentó en el apartado 2.5.2, comienza con la radiación solar incidiendo sobre los módulos fotovoltaicos los cuales generan energía eléctrica en CC que es transformada a CA mediante un inversor de conexión a red. El generador diésel será requerido cuando tanto las baterías como el generador fotovoltaico no puedan abastecer la demanda energética de la vivienda. Hay que tener en cuenta que los paneles fotovoltaicos y las baterías trabajan en corriente continua mientras que las cargas y el generador diésel trabajan en corriente alterna, para poder transformar la energía continua de los paneles en alterna y la corriente alterna del generador transformarla en continua, para cargar las baterías, se requiere usar un inversor bidireccional. [27]

Dentro de los sistemas híbridos existen múltiples configuraciones, la topología seleccionada para el sistema híbrido a estudiar es un sistema híbrido con acoplamiento en AC con inversor bidireccional.

En los siguientes epígrafes del capítulo se llevará al cabo el estudio de dicho sistema. Para ello, el software iHoga dimensionará cada componente del sistema con el fin de garantizar un rendimiento óptimo y obtener la opción más económica. La herramienta parte de los parámetros, demanda energética e irradiación, fijados en el estudio previo.

4.1.1. DIMENSIONADO

En este capítulo se llevará al cabo el dimensionado de los distintos elementos del sistema. Hay que tener en cuenta que el dimensionado de un sistema fotovoltaico depende de la energía solar disponible en la localización de la instalación, por ello se realizó un estudio previo tanto de la demanda energética como de la irradiación solar.

Dimensionar un sistema fotovoltaico significa calcular el número de sus componentes y su interconexión, para cumplir unos objetivos determinados que dependen de una aplicación determinada. En los sistemas aislados su objetivo es asegurar la disponibilidad de electricidad durante el máximo tiempo posible. [39]

El método de cálculo para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos es el siguiente:

1. Cálculo de la energía consumida por día. (Capítulo 3.1)
2. Selección de las horas solar pico (HPS).
3. Dimensionado de los módulos fotovoltaicos: número de paneles y su interconexión.
4. Dimensionado de las baterías.
5. Dimensionado del inversor.
6. Dimensionado del regulador.

- **MÓDULOS FOTOVOLTAICOS:**

Como se ha comentado anteriormente, el dimensionado de un sistema fotovoltaico depende de la energía solar existente en el emplazamiento del sistema. Por ello, hay que tener en cuenta, a la hora de dimensionar, el mes con menor radiación. En el estudio previo (capítulo 3.2), el software iHoga indicó el mes de diciembre como el mes con menor irradiación, teniendo en cuenta el consumo durante el mismo, por lo que el propio software eligió un ángulo de inclinación óptimo de 65°.

Lo primero de todo, es necesario introducir dos conceptos para el dimensionado de los paneles fotovoltaicos.

→El concepto de **Horas de Pico Solar (HPS)** [39] que se define como:

“Duración en horas de un día equivalente, que con una irradiancia de $1\text{KW}/\text{m}^2$ (GCEM), un panel proporcionará la misma energía total que el día considerado”

Al haber calculado la irradiación en KWh/m^2 , las horas de pico solar tienen el mismo valor numérico que $G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt}) = 3,06 KWh/m^2$. Aún sabiendo esto, calculamos las horas de pico solar de manera teórica para comprobar que lo anterior es cierto.

$$HPS_{crit} = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta)}{G_{CEM}} = \frac{3,06 KWh/m^2}{1KW/m^2} = 3,06 HPS$$

Donde,

HPS_{crit} = Horas de Sol Pico en el mes crítico.

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = Irradiación solar sobre superficie inclinada.

G_{CEM} = Hipotética irradiancia solar constante

Como se puede observar, el valor obtenido en ambos casos es el mismo $\rightarrow 3,06 KWh/m^2$

\rightarrow El otro concepto a introducir es el Rendimiento energético de la instalación o **Performance Ratio (PR) [40]** que se define como:

“Magnitud, independiente del lugar de ubicación, de la calidad de una instalación fotovoltaica. Expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica.”

Su expresión matemática es:

$$PR = \frac{E_D \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp}}$$

Donde,

PR = Rendimiento energético de la instalación.

P_{mp} = Potencia pico del generador en kWp .

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de red, los valores típicos del PR en sistemas con inversor son $PR=0,7$ y en sistemas con batería e inversor $PR=0,6$. Al tener nuestro sistema aislado tanto batería como inversor tomaremos el valor de **$PR=0,6$. [38]**

Una vez introducido estos dos conceptos, se realiza el dimensionado mínimo del generador:

$$P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{10KWh/día \cdot 1KW/m^2}{3,06kWh/m^2/día \cdot 0,6} = 5,44 kWp$$

El siguiente paso es calcular el número de paneles en serie y en paralelo que tiene la instalación pero antes se necesita saber el modelo de Panel Fotovoltaico seleccionado. Dentro del software iHoga tenemos distintas marcas de paneles fotovoltaicos para elegir, las marcas que ofrece la herramienta son Schott, Isofoton y Atersa. Tenemos que tener en cuenta dos cosas durante el dimensionado de nuestros paneles fotovoltaicos: la primera es que los módulos fotovoltaicos no tienen seguimiento de máxima potencia (MPPT) por lo que la tensión del sistema la fijará las baterías y la segunda es que al ser un sistema híbrido aislado, nuestros módulos fotovoltaicos están conectados al bus AC a través de su propio inversor. El coste, la potencia y la eficiencia de los mismos están incluidos en el precio del generador fotovoltaico.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS / GENERADORES FOTOVOLTAICOS

Añadir Panel individual:
 Añadir Familia Paneles:

Nombre	Tensión nominal	Intens. cortoc.	Potencia nominal	Coste de adquisición	Coste O&M unitario	Vida esperada	TONC	Coef. T ²	Emisiones CO2 fabricación y recic.
Nombre	(V)	(A)	(Wp)	(€)	(€/año)	(años)	(°C)	(%/°C)	(kgCO2 equiv./kWp)
aSi12-Schott: AS1100	24	6,79	100	110	1,1	25	49	-0,2	800
SiP24-Atersa: A180P	24	5,4	180	300	3	25	47	-0,43	800
SiP24-Atersa: A280P	24	8,39	280	350	3,5	25	47	-0,43	800
SiM24-Isofoton: Is150	24	4,86	150	320	3,2	25	46	-0,45	800
SiP24-Schott: Mono190	24	5,46	190	238	2,38	25	46	-0,45	800

figura 4.2 : Modelos de módulos fotovoltaicos proporcionados por iHoga.

Con todos los datos anteriores se procede a seleccionar los módulos de nuestra instalación, para dicha selección se ha tenido en cuenta tanto la relación calidad-precio como la relación potencia-tensión.

Tras la simulación el programa nos indica que el modelo óptimo es Atersa:280P (280 Wp), con la colocación óptima 2s x 10p (inclinación 65°):

Paneles PV Atersa: A280P (280Wp): 2s x 10p (incl 65°)

Tras conocer el modelo de módulo fotovoltaico con el que se va a trabajar se explican los pasos de diseño desde un punto de vista teórico.

Las características del modelo de generador elegido son:

Tabla 4.1: Características eléctricas de los paneles PV Atersa: A280P (280 Wp).

Propiedades eléctricas de PV Atersa: A280 (280Wp)
Potencia nominal 280 W
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmpp) 35,33 V
Corriente Punto de Máxima Potencia (Impp) 7,93 A
Voltaje de circuito abierto 44,37 V (Voc)
Corriente de cortocircuito 8,45 A (Ioc)
Eficiencia del módulo 14,39%

El número de paneles en serie se calcula con la siguiente expresión:

$$N_{mp,serie} = \frac{V_{bat}}{V_{mpp}} = \frac{48 V}{35,33 V} = 1,358 \approx 2 \text{ paneles}$$

El número de paneles en paralelo se calcula mediante la expresión:

$$N_{mp,paralelo} = \frac{I_{GFV,MPP}}{I_{MOD,MPP}}$$

Donde,

$I_{GFV,PP}$ = Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico

$I_{MOD,PP}$ = Corriente unitaria de cada módulo fotovoltaico.

Como se puede observar es necesario saber antes la corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico ($I_{GFV,MPP}$) en las condiciones de radiación solar en el mes descrito, para poder hallarla necesitamos saber antes el consumo de energía medio (Q_{Ah}) en Ah/día.

$$Q_{Ah} = \frac{E_D}{V_{bat}} = \frac{10 kWh/día}{48 V} = 208 Ah/día$$

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}} = \frac{208 Ah/día}{3,06} = 67,97 A \approx 68 A$$

Sustituyendo los datos en la expresión del cálculo del número de paneles en paralelo, obtenemos:

$$N_{mp,paralelo} = \frac{I_{GFV,MPP}}{I_{MOD,MPP}} = \frac{68 A}{7,93 A} = 8,58 \text{ paneles} \approx 9 \text{ paneles}$$

Como podemos observar, el número de paneles en paralelo teórico no coincide con el de la simulación, esto se debe a que en la simulación hemos aplicado un factor de seguridad.

- **BATERÍAS:**

Para el dimensionado de las baterías se tiene que tener en cuenta dos parámetros importantes: la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.[40] Los valores seleccionados son:

Profundidad de descarga Máxima Estacional (PD_{max,est})=75%=0,75

Profundidad de descarga Máxima Diaria (PD_{max,dia})=15%=0,15

Número de días de autonomía=4

Se requiere saber la **capacidad nominal mínima de las baterías** para el posterior dimensionado, para hallar el valor correcto se tiene que tener en cuenta tanto la profundidad de descarga máxima estacionaria como la diaria.[40] Por ello, calculamos ambas capacidades nominales de la batería y seleccionaremos la mayor de ambas.

La capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (**C_{ndía}**) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{ndía}(Wh) = \frac{E_D}{PD_{max,dia} \cdot F_{CT}} = \frac{10kWh}{0,15 \cdot 1} = 66,67kWh$$

F_{CT}=Factor de corriente de temperatura.

$$C_{ndía}(Ah) = \frac{C_{ndía}(Wh)}{V_{bat}} = \frac{66,67kWh}{48 V} = 1388,9Ah$$

La capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (**C_{nest}**) se calcula mediante la siguiente expresión:

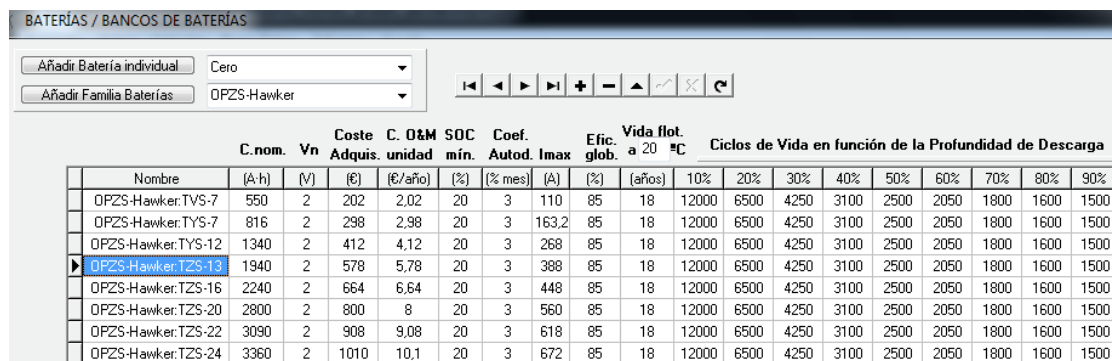
$$C_{nest} = \frac{E_D \cdot N}{PD_{max,est} \cdot F_{CT}} = \frac{10kWh \cdot 4}{0,75 \cdot 1} = 53,33 kWh$$

$$C_{nest}(Ah) = \frac{C_{nest}(Wh)}{V_{bat}} = \frac{53,33 kWh}{48} = 1111,11 Ah$$

Como hemos comentado anteriormente, seleccionamos la mayor. Por lo tanto, la capacidad nominal de las baterías sería, como mínimo:

$$C_{100} = 1388,9 Ah$$

Al igual que en los módulos fotovoltaicos, el software iHoga nos ofrece distintos modelos de baterías:



Nombre	C.nom. (A·h)	Vn (V)	Coste Adquis. (€)	C. O&M (€/año)	SOC mín. (%)	Coef. Autod. (% mes)	I _{max} (A)	Efic. glob. (%)	Vida flot. a 20 °C (años)	Ciclos de Vida en función de la Profundidad de Descarga								
										10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
OPZS-Hawker:TVS-7	550	2	202	2,02	20	3	110	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TYS-7	816	2	298	2,98	20	3	163,2	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TYS-12	1340	2	412	4,12	20	3	268	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TZS-13	1940	2	578	5,78	20	3	388	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TZS-16	2240	2	664	6,64	20	3	448	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TZS-20	2800	2	800	8	20	3	560	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TZS-22	3090	2	908	9,08	20	3	618	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
OPZS-Hawker:TZS-24	3360	2	1010	10,1	20	3	672	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500

figura 4.3 : Modelos de baterías proporcionados por iHoga.

Una vez introducidos en la tabla los modelos deseados a tener en cuenta por el programa, seleccionamos el modelo de batería. En nuestro caso, hemos seleccionado el Modelo Ah (Schuhmacher, 1993), ya que el resto no están disponibles para la versión educativa. También debemos seleccionar el modelo de vida de las baterías, en nuestro caso, hemos elegido el modelo Rainflow. [1]

Tras la simulación, el programa nos indica que el modelo óptimo de batería es una baterías de plomo-ácido abierta, OPZS-Hawker:TVS-7 (550 Ah), con la configuración óptima 24s x 1p:

Baterías OPZS-Hawker:TVS-7 (550 A·h): 24s. x 1p

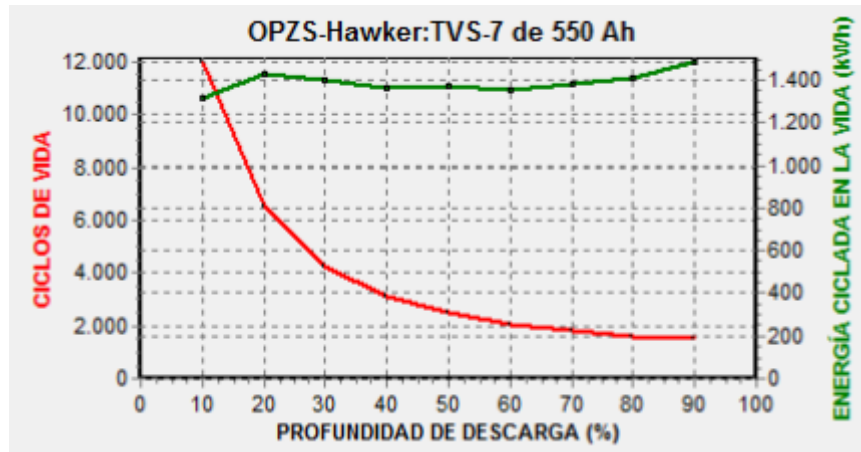


figura 4.4: Curva característica ciclos de vida – profundidad de descarga (%) – Energía ciclada (kWh)

Una vez conocida el modelo de batería empleada, calculamos el número de baterías desde el punto de vista teórico.

El número de ramas en paralelo viene expresado por la siguiente ecuación:

$$N_{bat,paralelo} = \frac{C_{batería}}{C_{100}}$$

$C_{batería}$ =Capacidad del banco de batería en Ah.

C_{100} =Capacidad obtenida para una duración de 100 horas en Ah.

Tras simulación, el software iHoga no recomienda la conexión en paralelo de baterías. En conclusión, al no tener ramas en paralelo. El número de baterías será la suma de tensiones en serie que consiga igualar a la tensión nominal de la instalación (48 V).

$$N_{bat} = \frac{48 V}{2 V} = 24 \text{ baterías}$$

- **INVERSOR DE CONEXIÓN A RED:**

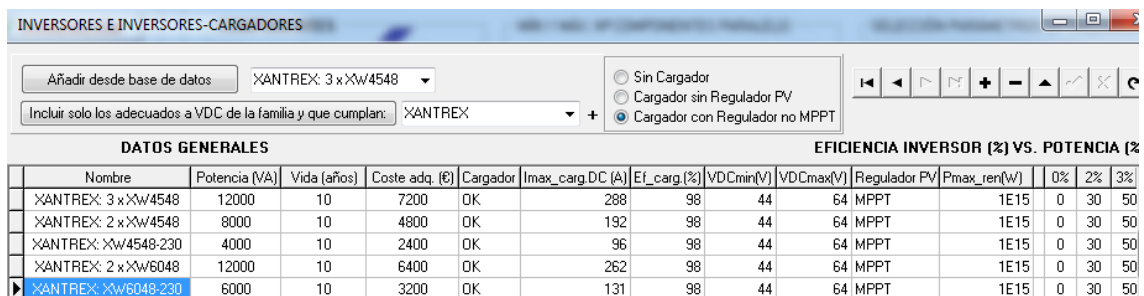
En el epígrafe del dimensionado de los módulos fotovoltaicos, se indica que cada módulo está conectado a la red de AC a través de su propio inversor. Tenemos que tener en cuenta que al estar integrado en el generador fotovoltaico, también lo estará su coste, su potencia y su eficiencia.

- **INVERSOR BIDIRECCIONAL:**

Para el dimensionado del inversor únicamente es necesario tener en cuenta el valor de la Potencia de AC máxima demanda, hallada en el capítulo 3.2. por el software, con un incremento del 20% como margen de seguridad, definido en el estudio previo.

$$P_{inv} = P_{max,demanda} = 2157 VA$$

Primeramente seleccionamos los inversores-cargadores (inversores bidireccionales) y los incluimos en la lista de preselección.



The screenshot shows a software window titled 'INVERSORES E INVERSORES-CARGADORES'. It includes a search bar with 'XANTREX: 3 x XW4548' and a filter for 'Cargador con Regulador no MPPT'. Below is a table of inverter models.

DATOS GENERALES				EFICIENCIA INVERSOR (%) VS. POTENCIA (%)									
Nombre	Potencia (VA)	Vida (años)	Coste adq. (€)	Cargador	I _{max_carg} DC (A)	E _{f_carg} (%)	VDCmin(V)	VDCmax(V)	Regulador PV	P _{max_ren} (W)	0%	2%	3%
XANTREX: 3 x XW4548	12000	10	7200	OK	288	98	44	64	MPPT	1E15	0	30	50
XANTREX: 2 x XW4548	8000	10	4800	OK	192	98	44	64	MPPT	1E15	0	30	50
XANTREX: XW4548-230	4000	10	2400	OK	96	98	44	64	MPPT	1E15	0	30	50
XANTREX: 2 x XW6048	12000	10	6400	OK	262	98	44	64	MPPT	1E15	0	30	50
XANTREX: XW6048-230	6000	10	3200	OK	131	98	44	64	MPPT	1E15	0	30	50

figura 4.5: Modelos de inversores bidireccionales proporcionados por iHoga.

A continuación, marcamos la opción cargador con regulador para limitar la elección del programa únicamente a los inversores bidireccionales. También se ha seleccionado la opción de forzar que el inversor pueda dar la máxima potencia en AC del consumo, por lo que el programa seleccionará el inversor de mínima potencia que proporcione la máxima potencia requerida en AC.

Por último, el programa nos muestra el inversor seleccionado, así como la potencia máxima demandada por las cargas.

Inversor XANTREX: XW4548-230 de 4000 VA

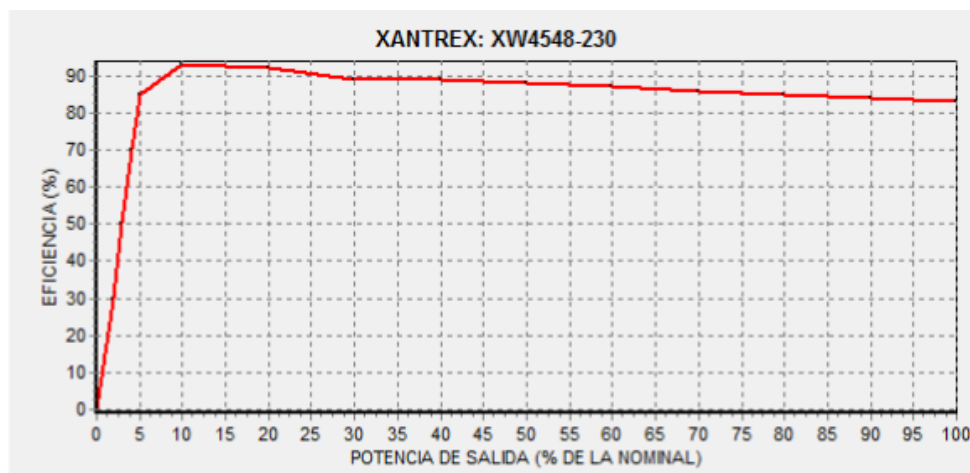


figura 4.6: Curva característica Eficiencia (%) –Potencia de salida (%Pn). Inversor XANTREX: XW4548-230

- **GENERADOR DIÉSEL:**

Para el dimensionado del generador diésel tenemos que tener en cuenta que los generadores que preseleccionemos deben asegurar el suministro de energía ininterrumpido de la instalación. Por ello, el generador diésel seleccionado tiene que cumplir que su potencia mínima sea mayor que la potencia máxima demandada. En nuestro sistema la potencia AC máxima demandada en el año es de 2157 VA, por lo que el generador diésel tiene que tener una potencia mayor a esta.

A continuación, seleccionamos los generadores diésel que cumplan la condición anterior. También debemos comprobar el resto de los parámetros, prestando una especial atención en la inflación anual esperada en el precio del combustible.

GENERADORES AC

Añadir desde base de datos Diesel 5.5kVA

Nombre	Potencia nominal (Pn) (kVA)	Coste de adquisición (€)	Coste O&M (€/h)	Vida esperada (h)	Potencia mínima (% de Pn)	COMBUSTIBLE			Inflación comb. anual (%)	Emisiones CO2 (kg CO2/ud.)	Parámetros consumo	
						Tipo	Unidad	€/ud.			A	B
Cero	0	0	0	100000	30	Diesel	litro	0	0	0	0,246	0,08145
Diesel 1.9kVA	1,9	800	0,14	10000	30	Diesel	litro	1,3	5	3,5	0,246	0,08145
Diesel 3kVA	3	1050	0,17	10000	30	Diesel	litro	1,3	5	3,5	0,246	0,08145
Diesel 4kVA	4	1200	0,18	10000	30	Diesel	litro	1,3	5	3,5	0,246	0,08145
Diesel 5.5kVA	5,5	1300	0,22	10000	30	Diesel	litro	1,3	5	3,5	0,246	0,08145

figura 4.7: Modelos de generadores AC proporcionados por iHoga.

Tras la simulación, el generador de AC elegido es :

Generador AC diésel 1,9 KVA

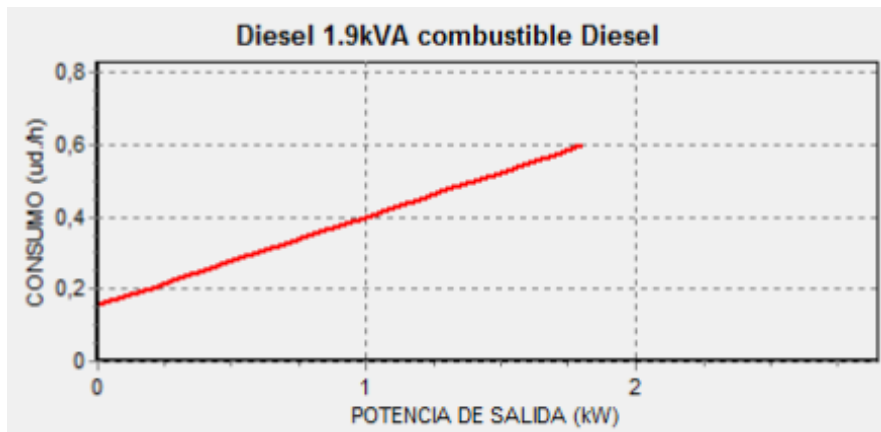


figura 4.8: Consumo (l/h) generador diésel 1,9 KVA

4.1.2. SIMULACIÓN

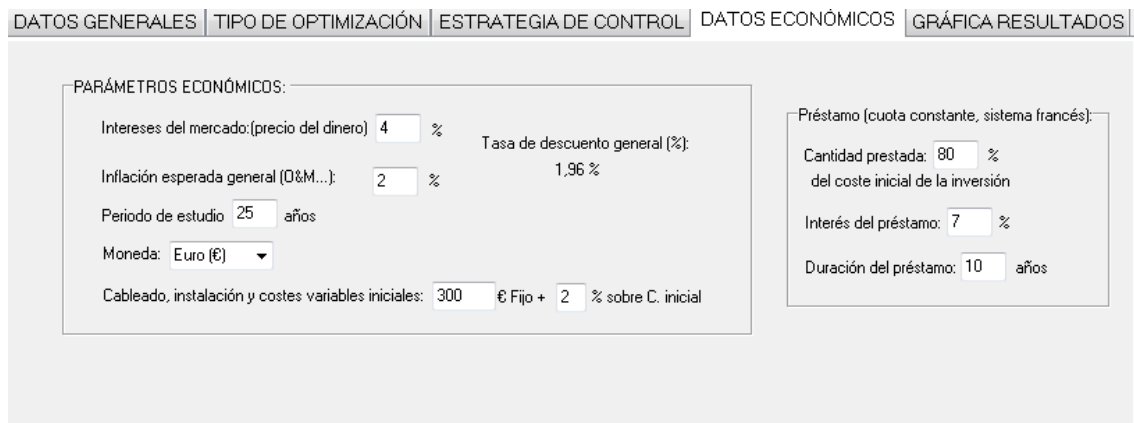
Antes de realizar las simulaciones se ha tenido que realizar:

- Un estudio previo para calcular la demanda energética y la irradiación.
- Dimensionado de todos los elementos del sistema.
- Introducir los datos del dimensionado en el software.

Tras haber realizado todos los puntos anteriores, el programa nos permite realizar un predimensionado donde el software calcula de manera aproximada la potencia de pico del generador fotovoltaico para cubrir la demanda solo con energía fotovoltaica. En este primer dimensionado el programa también calcula el número máximo de baterías en paralelo y el número máximo de paneles en paralelo.

Una vez realizado el predimensionado, se requiere configurar todos los términos presentes en la interfaz principal.

- **Tipo de optimización:** La optimización seleccionada es **Mono-objetivo** que permite buscar entre todas las combinaciones posibles de nuestro sistema la más óptima sin tener que evaluar todas ellas.
- **Estrategia de control:** La estrategia de control elegida es el seguimiento de la demanda, la cual consiste en cubrir la demanda de energía de manera ininterrumpida. Esto quiero decir que, si las fuentes renovables no abastecen la demanda de energía, se suministrará a través de las baterías o el generador de apoyo.
- **Datos económicos:** Introducimos los valores deseados para los términos económicos, en nuestro caso hemos dejado los que estaban por defecto en el software.



The screenshot shows a software interface with a navigation bar at the top containing five tabs: 'DATOS GENERALES', 'TIPO DE OPTIMIZACIÓN', 'ESTRATEGIA DE CONTROL', 'DATOS ECONÓMICOS', and 'GRÁFICA RESULTADOS'. The 'DATOS ECONÓMICOS' tab is active. Below the tabs, there are two main sections for configuring economic parameters. The left section, titled 'PARÁMETROS ECONÓMICOS', contains the following fields: 'Intereses del mercado:(precio del dinero)' set to 4%, 'Inflación esperada general (O&M...)' set to 2%, 'Periodo de estudio' set to 25 años, 'Moneda' set to Euro (€), and 'Cableado, instalación y costes variables iniciales' set to 300 € Fijo + 2% sobre C. inicial. The right section, titled 'Préstamo (cuota constante, sistema francés):', contains the following fields: 'Cantidad prestada: 80 % del coste inicial de la inversión', 'Interés del préstamo: 7 %', and 'Duración del préstamo: 10 años'.

figura 4.9: Datos económicos a completar en el interfaz principal de iHoga.

- **La autonomía del banco de baterías** fijada en 4 días.

Al acabar de completar todos estos puntos, se deben introducir las restricciones del sistema:

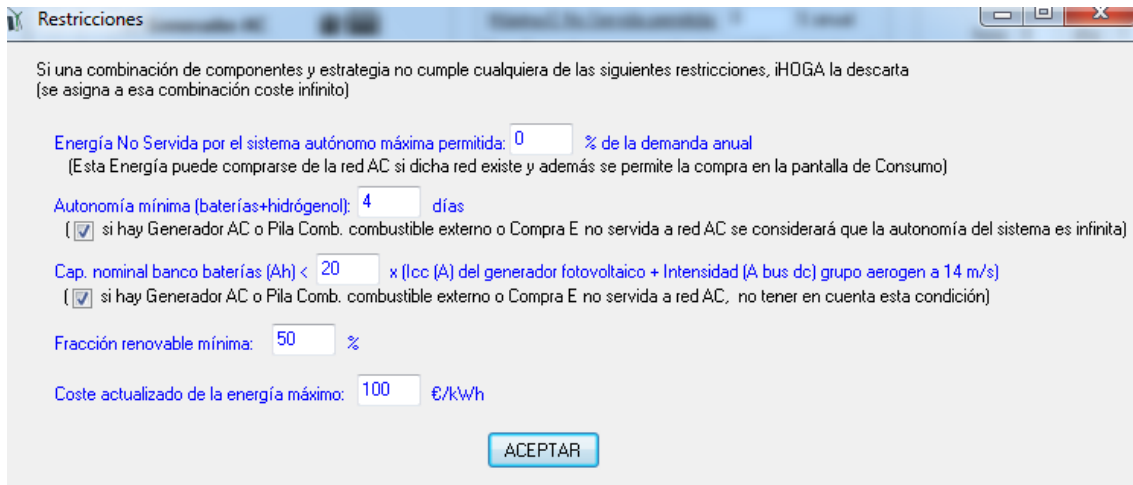


figura 4.10: Restricciones que condicionan el sistema.

- **La energía no servida máxima permitida:** En nuestro caso al ser un sistema de autoconsumo el valor tiene que ser 0, lo que significa que el sistema tiene que abastecer la demanda energética de manera ininterrumpida.
- **Autonomía mínima de las baterías:** El valor será 4 días para que coincida con el de la interfaz principal.
- **Capacidad nominal banco baterías:** Este valor intenta evitar que las corrientes de carga sean muy bajas para las baterías seleccionadas. El valor fijado es 20.
- **Fracción renovable:** Como nuestro sistema cuenta con un generador diésel de apoyo, se ha seleccionado un valor del 50%.
- **Coste actualizado de la energía máximo** nunca será mayor de 100€/kWh.

Tras completar todas las restricciones, se procede a realizar la simulación del sistema. En la interfaz principal del programa se muestra una gráfica donde se representa el coste total (VAN) (rojo) del sistema y las emisiones anuales de CO₂ (verde). En la tabla se recogen las nueve mejores combinaciones ordenadas de mejor a peor. Por último en la parte inferior de la pantalla se muestra los datos del sistema híbrido más económico, es decir el sistema más óptimo.

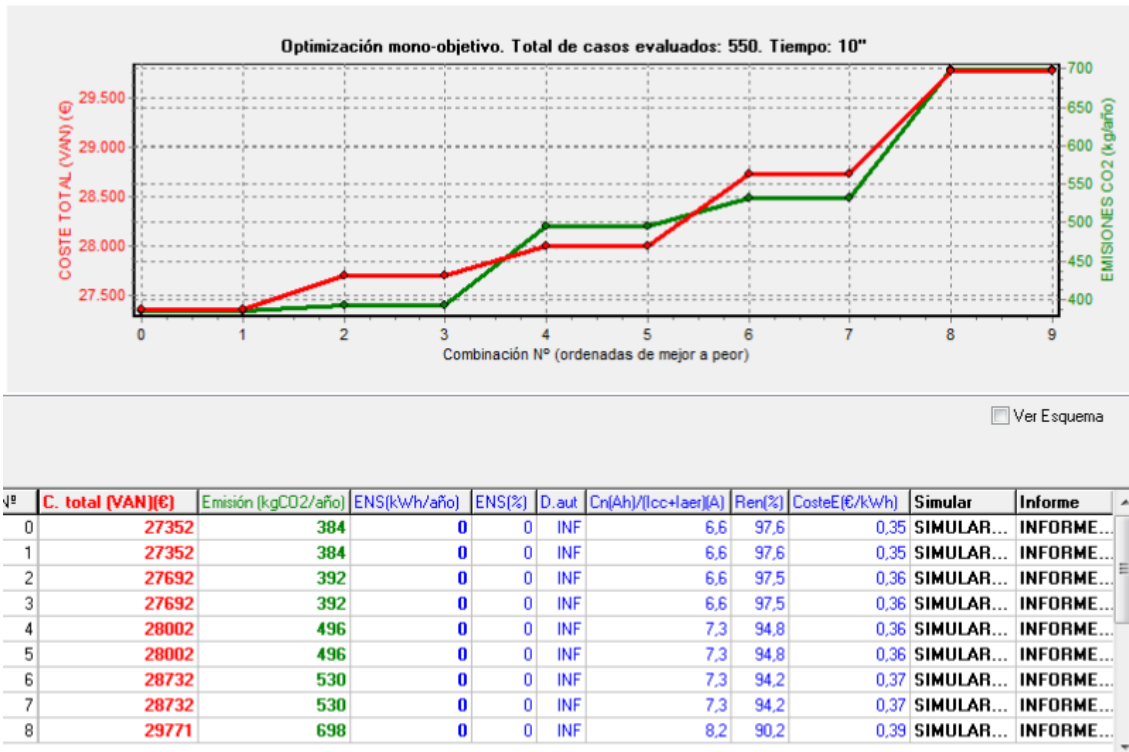


figura 4.11: Resultado de la simulación realizada por el software iHoga.

Por último en la parte inferior de la pantalla se muestra los datos del sistema híbrido más económico, es decir el sistema más óptimo.

Tabla 4.2: Resumen resultado de la simulación realizada por el software iHoga.

RESULTADOS SIMULACIÓN SIST. FOTOVOLTAICO HÍBRIDO AISLADO CON AEROTERMIA		
COMPONENTE	MODELO	CANTIDAD
Módulos fotovoltaicos	PV Atersa: A280P (280Wp)	2s x 10p
Baterías	OPZS-Hawker:TVS-7 (550 Ah)	24s x 1p
Inversor bidireccional	XANTREX: XW4548-230 de 4000VA	1
Generador AC Diésel	Generador AC Diésel 1,9 KVA	1
Rectificador incluido en inversor		1
Regulador carga batería incluido inversor		1
E no servida (%)	0%	
Coste Total (VAN)	27352 € (0,35 €/kWh)	

4.1.3. ESTUDIO ENERGÉTICO

Tras la simulación, el propio software proporciona los datos energéticos detallados en horas, meses y el total anual. En cuanto al estudio energético mensual, el software ofrece los datos energéticos mensuales de cada uno de los componentes del sistema. A continuación, se adjunta la tabla con dichos datos.

Tabla 4.3: Tabla resultado de valores de energía y consumo mensuales proporcionados por el software iHoga.

MES	Consumo (kWh)	Módulos Fotvolt. (kWh)	Gen.AC (kWh)	Coste Comb. (€)	Carga Batería (kWh)	Descarga Batería (kWh)	Exceso (kWh)
ENERO	260.5	331.8	18.2	8.2	229.1	198.7	10.9
FEBRERO	229.8	377.0	0.0	0.0	206.2	175.4	71.7
MARZO	254.8	467.1	0.0	0.0	223.4	189.2	131.4
ABRIL	253.3	411.9	0.0	0.0	212.4	181.2	85.8
MAYO	262.3	402.6	0.0	0.0	219.0	185.6	64.9
JUNIO	258.6	404.6	0.0	0.0	190.5	161.2	76.9
JULIO	272.0	444.0	0.0	0.0	206.4	176.1	95.3
AGOSTO	271.3	474.9	0.0	0.0	205.9	174.4	126.7
SEPTIEMBRE	259.0	465.7	0.0	0.0	191.5	162.6	136.6
OCTUBRE	250.8	396.4	0.0	0.0	216.6	184.5	67.9
NOVIEMBRE	249.2	323.5	0.0	0.0	215.6	193.8	6.2
DICIEMBRE	260.6	285.9	55.3	28.7	219.4	191.4	4.8

El software iHoga también nos proporciona los datos energéticos anuales de los distintos componentes. A continuación, se muestra la tabla con el resumen de los datos energéticos anuales:

Tabla 4.4: Tabla resultado de valores de energía y consumo anuales proporcionados por el software iHoga.

MES	Consumo (kWh)	Módulos Fotvolt. (kWh)	Gen.AC (kWh)	Coste Comb. (€)	Carga Batería (kWh)	Descarga Batería (kWh)	Exceso (kWh)
AÑO	3082.2	4785.4	73.5	28.5	2536.1	2174.1	879.1

Continuando con el estudio energético mensual, las gráficas de la energía mensual (kWh) consumida por cada componente, así como el exceso de la misma, ofrecen mucha información acerca del funcionamiento del sistema.

- **Generador fotovoltaico:**

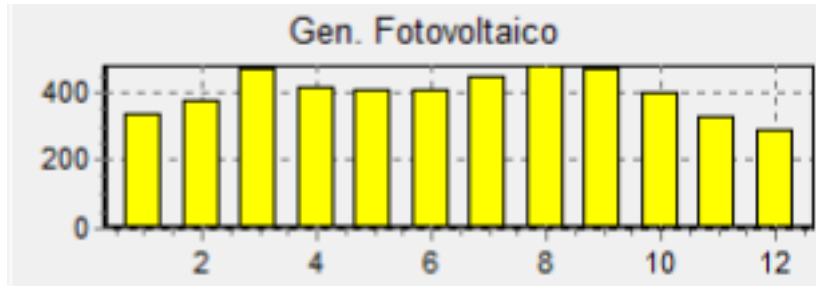


figura 4.12: Gráfica Energía mensual generador fotovoltaico (kWh) proporcionada por el software iHoga.

- **Generador diésel:**

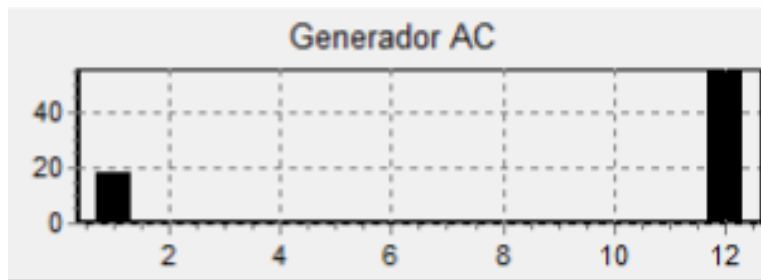


figura 4.13: Gráfica Energía mensual Generador Diésel AC (kWh) proporcionada por el software iHoga.

- **Baterías:**

- **Carga de Baterías:**

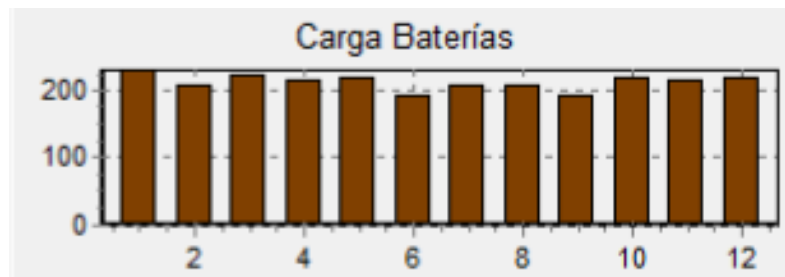


figura 4.14: Gráfica Energía mensual Carga de Baterías (kWh) proporcionada por el software iHoga.

○ **Descarga de Baterías:**

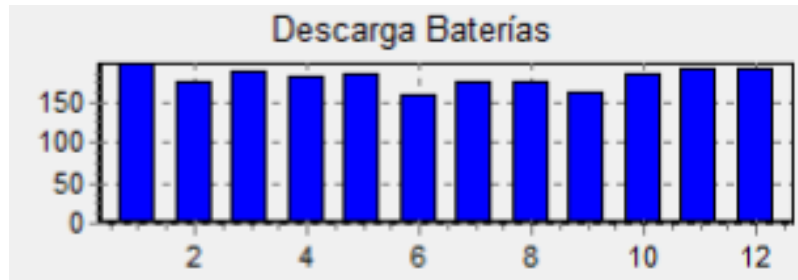


figura 4.15: Gráfica Energía mensual Descarga Baterías (kWh) proporcionada por el software iHoga.

○ **Energía en Baterías al final de cada mes:**

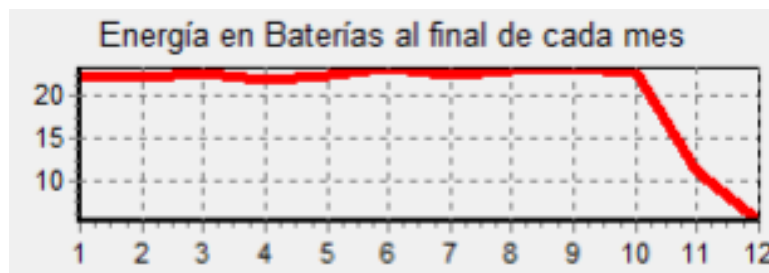


figura 4.16: Gráfica Energía en Baterías al final de cada mes (kWh) proporcionada por el software iHoga.

● **Exceso de energía:**

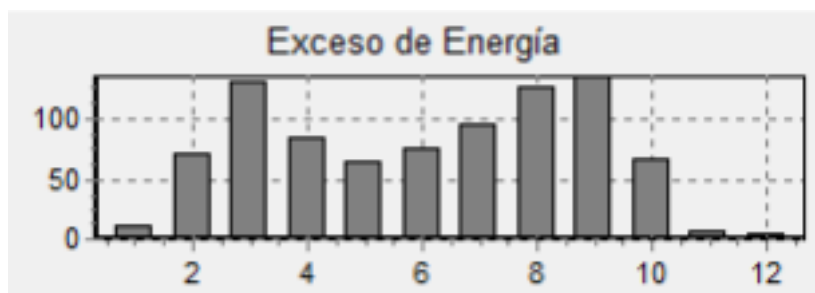


figura 4.17: Gráfica del Exceso de energía mensual (kWh) proporcionada por el software iHoga.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, los paneles fotovoltaicos y las baterías trabajan durante todo el año. Sin embargo, el generador Diésel de AC únicamente funciona cuando la radiación solar es insuficiente para abastecer la demanda energética de nuestra instalación, coincidiendo los meses de trabajo del generador diésel con los meses que no hay exceso de energía. Teniendo en cuenta lo anterior, el sistema funciona de manera correcta. Debido a que el generador diésel está definido en el sistema como un sistema de apoyo a la instalación y como podemos comprobar por las gráficas solo entra en funcionamiento cuando no hay exceso de energía.

Por último, se muestra el balance de energías de cada elemento del sistema a lo largo de un año, el cual confirma el correcto funcionamiento del sistema.

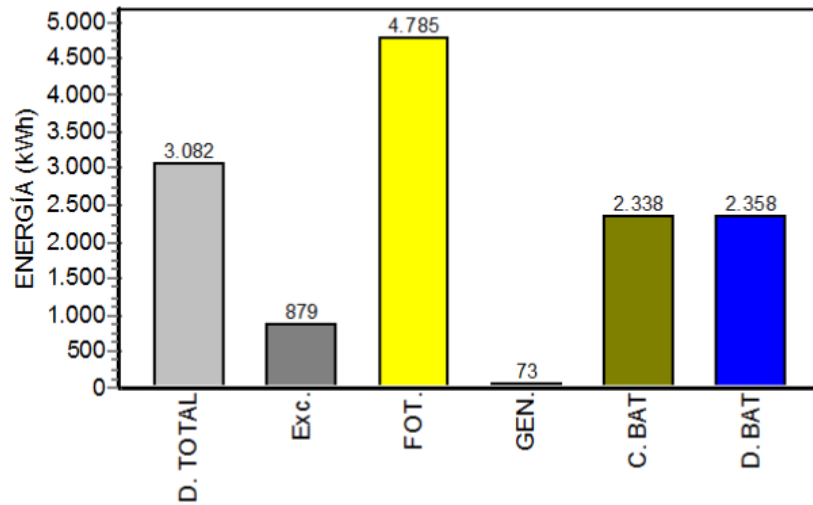


figura 4.18: Balance de energías del sistema a lo largo de un año.

La herramienta también permite realizar un estudio energético durante 24 horas de cualquier día del año. A continuación se realiza dicho estudio, en el cual se tiene que tener en cuenta la información abstraída de las gráficas mensuales de los datos energéticos. Por ello, debemos buscar un día en el año en el que se den todos los componentes. La búsqueda del día idóneo se empieza por el peor mes de irradiación solar, diciembre. El día seleccionado es 12 de diciembre donde se puede observar en la gráfica que todos los elementos entran en funcionamiento

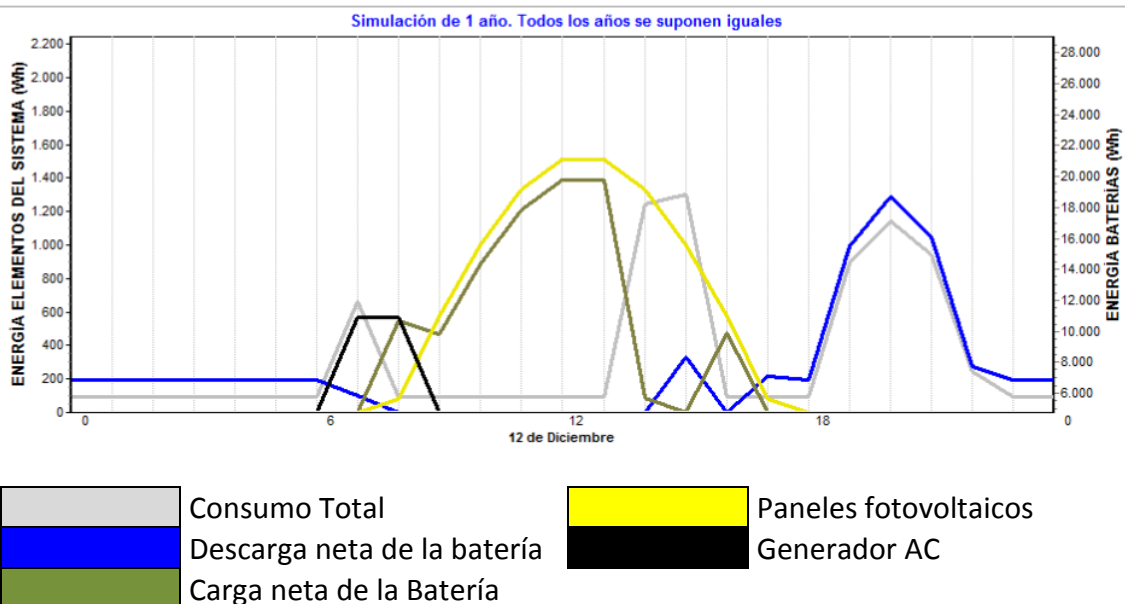


figura 4.19: Simulación estudio energético durante 24 horas.

En las horas iniciales del día, las baterías descargan una mínima cantidad de energía para cubrir la demanda del sistema. En el primer pico de demanda, en torno a las 6 de la mañana, las baterías no están lo suficientemente cargadas como para ceder energía y los paneles fotovoltaicos al no haber radiación solar tampoco pueden generar energía, por lo que es en este tramo de horas donde entra en juego el generador de AC. En el segundo pico de demanda energética, los paneles fotovoltaicos cubren toda la demanda energética del sistema, ya que este pico coincide con las horas de mayor radiación solar. Por último, al final del día las baterías son las que cubren la demanda de la instalación, ya que durante las horas de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se han podido cargar.

Para terminar de comprender el funcionamiento del sistema, se muestra la gráfica de la potencia mensual y anual de generación de energía.

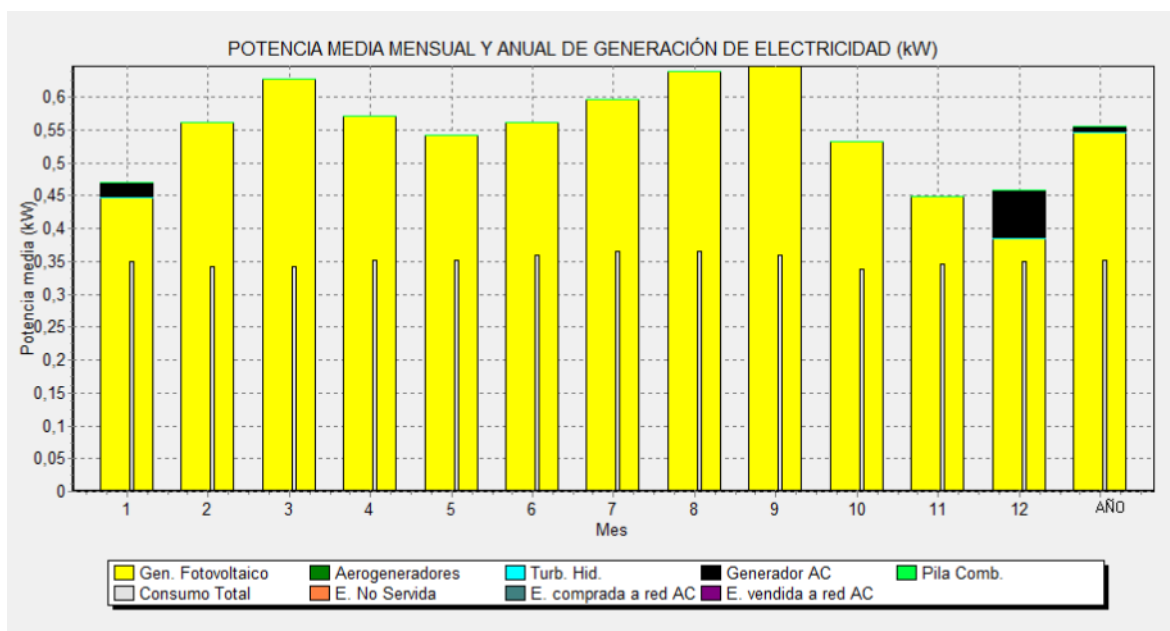


figura 4.20: Potencia media mensual y anual de generación de electricidad (kW).

4.1.4. ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se realiza para 25 años de vida del sistema. El software iHoga nos proporciona los datos económicos donde se muestran los costes referidos al VAN durante el período de estudio.

Tabla 4.5: Tabla resultado de los costes referidos a VAN durante 25 años.

AÑO	Costes M.Fotov	O&M Gen. Fotov.	Costes Gen. AC	O&M Gen.AC	Costes Inversor	Costes Baterías	O&M Baterías	Costes Comb. Gen AC	Costes Financiación	TOTAL (Costes-Ingresos)
	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN
0	7000.0	0.0	800.0	0.0	2400.0	4848.0	0.0	0.0	3129.8	3129.8
1	0.0	107.9	0.0	9.2	0.0	0.0	96.6	37.4	1713.9	1964.9
2	0.0	105.8	0.0	9.0	0.0	0.0	94.7	37.7	1648.0	1895.2
3	0.0	103.8	0.0	8.8	0.0	0.0	92.9	38.1	1584.6	1828.2
4	0.0	101.8	0.0	8.7	0.0	0.0	91.1	38.4	1523.6	1763.7
5	0.0	99.8	0.0	8.5	0.0	0.0	89.4	38.8	1465.0	1701.6
6	0.0	97.9	0.0	8.3	0.0	0.0	87.6	39.2	1408.7	1641.8
7	0.0	96.0	0.0	8.2	0.0	0.0	86.0	39.6	1354.5	1584.2
8	0.0	94.2	0.0	8.0	0.0	0.0	84.3	39.9	1302.4	1528.9
9	0.0	92.4	0.0	7.9	0.0	0.0	82.7	40.3	1252.3	1475.6
10	0.0	90.6	0.0	7.7	1976.4	0.0	81.1	40.7	1204.2	3400.7
11	0.0	88.8	0.0	7.6	0.0	0.0	79.5	41.1	0.0	217.1
12	0.0	87.1	0.0	7.4	0.0	0.0	78.0	41.5	0.0	214.1
13	0.0	85.5	0.0	7.3	0.0	0.0	76.5	41.9	0.0	211.2
14	0.0	83.8	0.0	7.1	0.0	0.0	75.0	42.3	0.0	208.3
15	0.0	82.2	0.0	7.0	0.0	1988.2	73.6	42.7	0.0	2193.7
16	0.0	80.6	0.0	6.9	0.0	0.0	72.2	43.1	0.0	202.8
17	0.0	79.1	0.0	6.7	0.0	0.0	70.8	43.5	0.0	200.1
18	0.0	77.6	0.0	6.6	0.0	0.0	69.4	43.9	0.0	197.5
19	0.0	76.1	0.0	6.5	0.0	0.0	68.1	44.4	0.0	195.0
20	0.0	74.6	0.0	6.4	1627.6	0.0	66.8	44.8	0.0	1820.1
21	0.0	73.2	0.0	6.2	0.0	0.0	65.5	45.2	0.0	190.1
22	0.0	71.8	0.0	6.1	0.0	0.0	64.2	45.7	0.0	187.8
23	0.0	70.4	0.0	6.0	0.0	0.0	63.0	46.1	0.0	185.5
24	0.0	69.0	0.0	5.9	0.0	0.0	61.8	46.5	0.0	183.3
25	0.0	67.7	0.0	5.8	-738.5	-410.7	60.6	47.0	0.0	-968.1
TOTAL	7000.0	2157.5	800.0	184.0	5265.5	6425.5	1931.6	1049.9	17587.0	27353.0



La inversión inicial que se tiene que realizar es de 15.649 €, resulta de la suma de los costes de todos los elementos y de la instalación del sistema (601€). La simulación del sistema se ha realizado con un préstamo del 80% de la inversión inicial a pagar en diez años, por lo que se pagará una cuota anual de 1782,4 €.

Como podemos observar en la tabla 4.5 los costes de mantenimiento (O&M) comienzan desde el primer año en los módulos fotovoltaicos, generador de AC y en las baterías.

A la hora de realizar el estudio económico, hay que tener en cuenta la vida de cada elemento de nuestro sistema. La estimación de vida de los componentes del sistema es:

- Baterías → 15 años
- Inversores → 10 años
- Generador Diésel → 10.000 horas

En el caso de las baterías y los inversores, se tendrán que cambiar pasada su vida útil, lo cual supondrá un gasto económico que influirá en el coste final del sistema. En cambio en el caso del generador, al utilizarse como sistema de apoyo no se llegará a consumir todas las horas de su vida útil.

El coste final es el resultado de la diferencia entre la suma de los costes de cada componente del sistema (adquisición y mantenimiento) y la suma de ganancias obtenidas por la venta de los dispositivos al final de su vida útil. En referencia a la venta de los elementos al final de su vida útil, se puede observar en la tabla 4.5. que el precio tanto de las baterías como de los inversores no es el mismo la primera vez que se compra a la segunda vez, ya que es el resultado de la diferencia del coste adquisición del nuevo componente y el coste de venta del anterior.

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN) → 9158 €

Coste Banco de Baterías (VAN) → 8357 €

Coste Generador (VAN) → 983 €

Coste Combustible del generador (VAN) → 1049 €

Coste Inversor (VAN) → 5265 €

COSTE TOTAL → 27.352 €

Coste actualizado de la energía suministrada → 0,35 €

Por último, se muestra un gráfico con el porcentaje económico de cada componente:

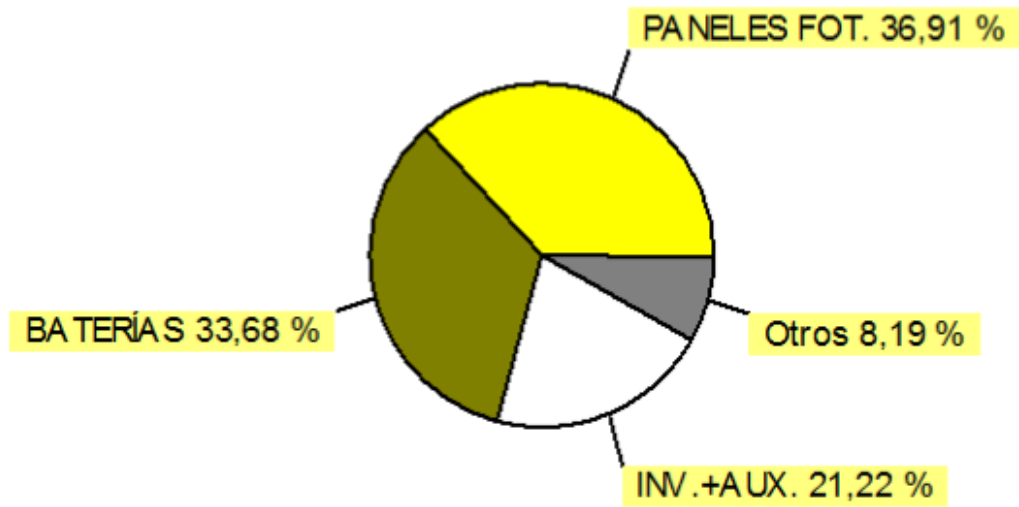


figura 4.21: Gráfico con el correspondiente porcentaje económico de cada elemento del sistema.

4.2. SISTEMA CONECTADO A RED

El segundo sistema a estudiar es el sistema fotovoltaico híbrido conectado a red, que consta de módulos fotovoltaicos, un inversor y la conexión a red.

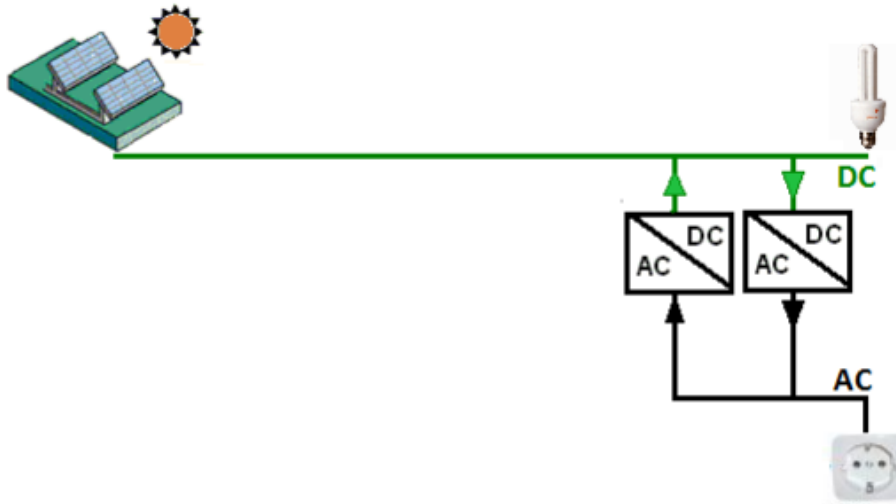


figura 4.22: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de SFCR es compatible con un amplio margen de aplicaciones, las cuales pueden ir desde centrales de varios megavatios hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios. En nuestro caso estamos centrados en un sistema mediano, al ser la instalación de una vivienda unifamiliar con una demanda energética diaria no superior a 10 kWh/día.

Si se tienen en cuenta las características de la electricidad, los sistemas conectados a red se pueden dividir en dos partes:

- **PARTE DE CC:** del generador FV a la entrada del inversor, la principal característica de esta parte es que la electricidad se suministra en CC. En esta parte se incluyen los módulos FV, las estructuras de soporte, los cables y las cajas de conexión de CC.
- **PARTE DE CA:** desde el inversor hasta la red eléctrica pública, en esta parte la electricidad se suministra como CA. En esta parte se incluyen los siguientes elementos: inversor, cables y elementos protectores.

4.2.1. DIMENSIONADO

En este capítulo se llevará al cabo el dimensionado de los distintos elementos del sistema fotovoltaico conectado a red. Al igual que con el otro sistema, hay que tener en cuenta que el dimensionado de un sistema fotovoltaico depende de la energía solar disponible en la localización de la instalación.

Como hemos comentado en el apartado 4.1.1. **Dimensionar un sistema fotovoltaico** consiste en calcular el número de sus componentes y su interconexión, para cumplir unos objetivos determinados que dependen de una aplicación determinada. En los sistemas aislados su objetivo es generar la máxima electricidad posible. [39]

El método de cálculo para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos es el siguiente:

1. Cálculo de la energía consumida por día. (Capítulo 3.1)
2. Selección de las horas solar pico (HPS).
3. Dimensionado de los módulos fotovoltaicos: número de paneles y su interconexión.
4. Dimensionado del inversor.

- **MÓDULOS FOTOVOLTAICOS:**

Al igual que para el sistema aislado, tenemos que tener en cuenta el valor de **horas de pico solar (HPS)** y el **performance ratio (PR)**.

El estudio previo realizado en el capítulo 3, se definen los parámetros de irradiación solar y demanda energética que se mantienen fijos en ambos sistemas. Al haber calculado la irradiación en KWh/m^2 , las horas de pico solar tienen el mismo valor numérico que $G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt}) = 3,06 \text{ KWh/m}^2$.

$$\text{HPS} \rightarrow 3,06 \text{ kWh/día}$$

El valor del performance ratio en un sistema fotovoltaico conectado a red oscila entre 0,7 y 0,75. El valor seleccionado es:

$$\text{PR} \rightarrow 0,7$$

Una vez introducido estos dos conceptos, se realiza el dimensionado mínimo del generador:

$$P_{mp, \min} = \frac{E_D \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{10 \text{ KWh/día} \cdot 1 \text{ KW/m}^2}{3,06 \text{ kWh/m}^2/\text{día} \cdot 0,7} = 4,67 \text{ kWp}$$

Tras la simulación el programa nos indica que el modelo óptimo es ATERSA: A280P (280Wp), con la configuración:

PV ATERSA: A280P (280 Wp): 2s x 11p

Al ser el mismo panel fotovoltaico que en el otro sistema no volvemos añadir las características eléctricas.

Tras conocer el modelo de módulo fotovoltaico con el que se va a trabajar comprobamos que el número de paneles de la simulación coincide con el número de paneles teóricos:

$$N = \frac{P_{GFV,M,STC}}{P_{MOD,M,STC}} = \frac{4670}{220} = 21,22 \approx 22 \text{ paneles}$$

Como podemos comprobar ambos valores coinciden.

- **INVERSOR:**

Desde el punto de vista teórico antes de hallar la potencia nominal del inversor, ($P_{INV,DC}$) del inversor, un parámetro que tenemos que tener en cuenta es el factor de dimensionamiento (F_S):

$$F_S = \frac{P_{INV,DC}}{P_{GFV,M,STC}}$$

Donde,

$P_{GFV,M,STC}$ es la potencia máxima del generador FV a CEM.

El valor recomendado de F_S en el sur de Europa es entre 0,85 y 1, tomaremos el valor de **$F_S \rightarrow 0,95$** .

La potencia del inversor se calcula como:

$$P_{INV,DC} = P_{GFV,M,STC} \cdot F_S = 4,67 \cdot 0,95 = 4,43 \text{ kW}$$

Para realizar el dimensionado mediante el software, el único dato necesario es:

$$P_{inv} = P_{max,demanda} = 2157 \text{ VA}$$

Tras la simulación el modelo de inversor seleccionado por el software es:

Inversor STECA:SOLARIX 1200X3 de 2700 VA

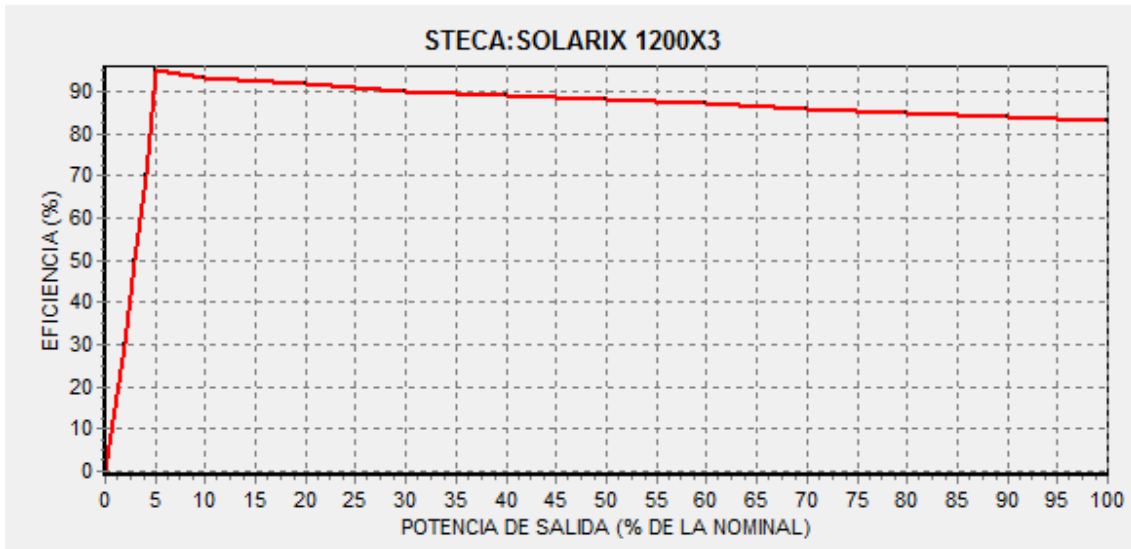


figura 4.23: Curva característica Eficiencia (%) –Potencia de salida (%Pn). Inversor SOLARIX: 1200X3

4.2.2. SIMULACIÓN

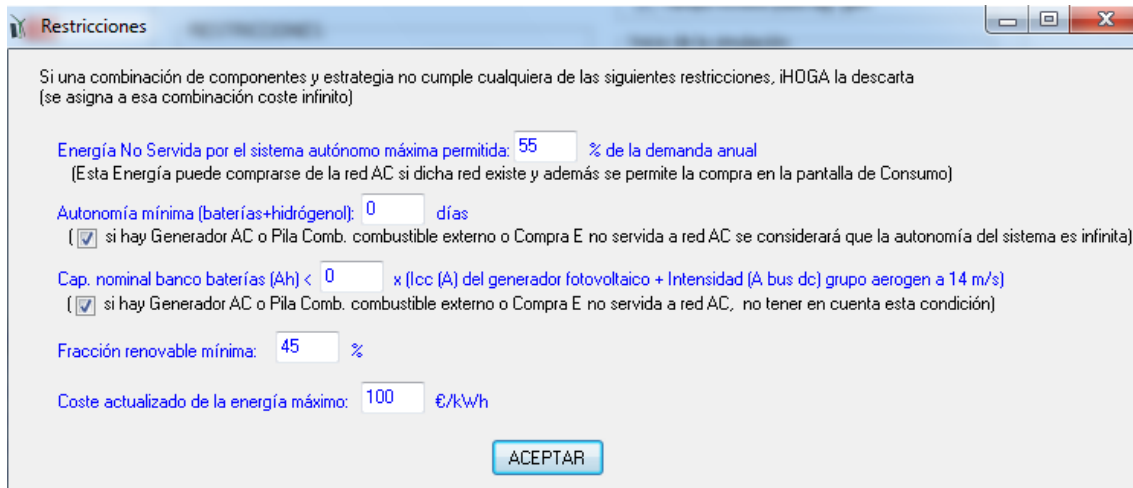
El procedimiento para realizar la simulación es el mismo que en el anterior sistema. Al igual que en el capítulo 4.1.2. antes de realizar las simulaciones se ha tenido que realizar:

- Un estudio previo para calcular la demanda energética y la irradiación.
- Dimensionado de todos los elementos del sistema.
- Introducir los datos del dimensionado en el software.

Una vez realizado todos los puntos anteriores, configuramos todos los términos presentes en la interfaz principal.

- **Tipo de optimización** → Mono-objetivo
- **Estrategia de control** → Seguimiento de la demanda
- **Datos económicos** → Por defecto
- **La autonomía del banco de baterías** fijada en 0 días al no tener sistema de acumulación.

Al acabar de completar todos estos puntos, se deben introducir las restricciones del sistema:



Si una combinación de componentes y estrategia no cumple cualquiera de las siguientes restricciones, iHOGA la descarta (se asigna a esa combinación coste infinito)

Energía No Servida por el sistema autónomo máxima permitida: 55 % de la demanda anual
(Esta Energía puede comprarse de la red AC si dicha red existe y además se permite la compra en la pantalla de Consumo)

Autonomía mínima (baterías+hidrógeno): 0 días
(si hay Generador AC o Pila Comb. combustible externo o Compra E no servida a red AC se considerará que la autonomía del sistema es infinita)

Cap. nominal banco baterías (Ah) < 0 x (lcc (A) del generador fotovoltaico + Intensidad (A bus dc) grupo aerogen a 14 m/s)
(si hay Generador AC o Pila Comb. combustible externo o Compra E no servida a red AC, no tener en cuenta esta condición)

Fracción renovable mínima: 45 %

Coste actualizado de la energía máximo: 100 €/kWh

ACEPTAR

figura 4.24: Restricciones que condicionan el sistema.

- **La energía no servida máxima permitida:** En nuestro caso al ser un sistema conectado a red el valor es 55%, lo que significa que el sistema no abastece la demanda energética de manera ininterrumpida.
- **Autonomía mínima de las baterías:** El valor es 0 días para que coincida con el de la interfaz principal.
- **Capacidad nominal banco baterías:** Al no tener baterías es 0.
- **Fracción renovable:** Como nuestro sistema está conectado a red y tiene un porcentaje del 55% de energía no servida máxima permitida, se ha seleccionado un valor del 45%.
- **Coste actualizado de la energía máximo** nunca será mayor de 100€/kWh.

Tras completar todas las restricciones, pulsamos la pestaña de CALCULAR y nos aparece en la interfaz principal del programa la gráfica donde se representa el coste total (VAN) (rojo) del sistema y las emisiones anuales de CO₂ (verde).

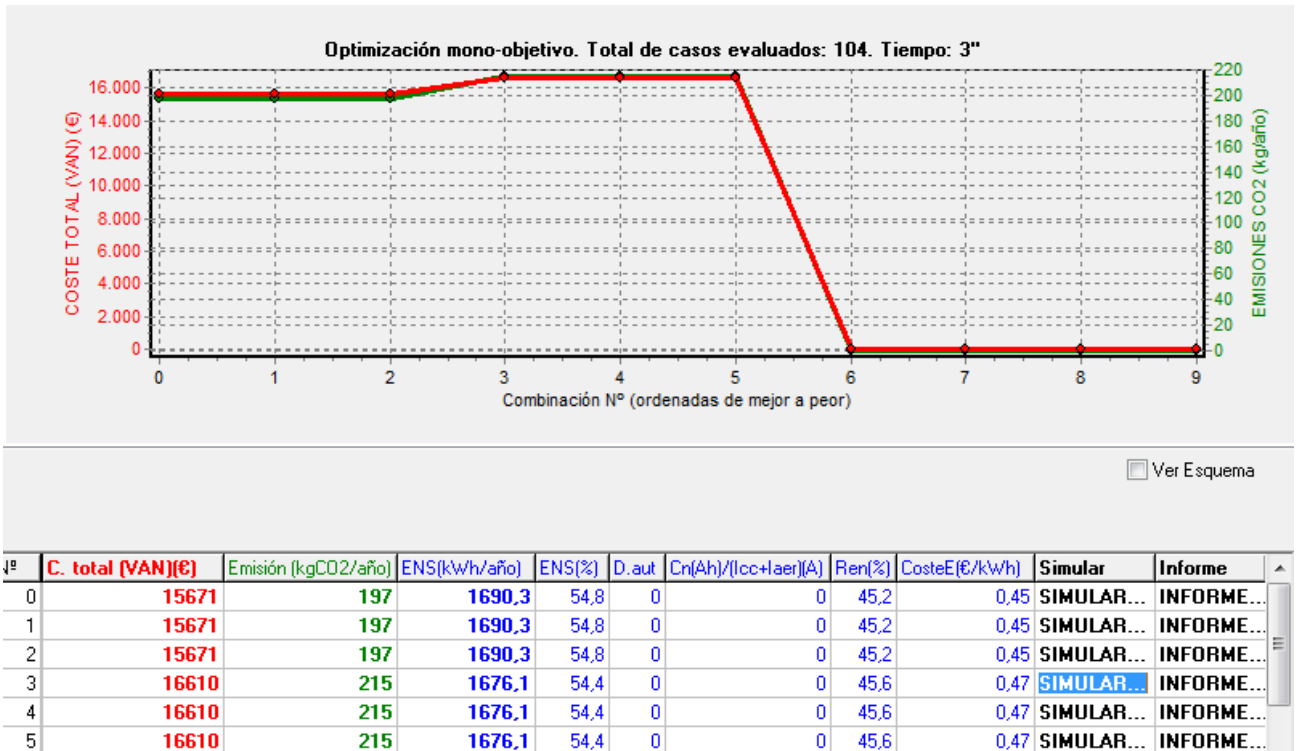


figura 4.25: Resultado de la simulación realizada por el software iHoga.

Por último en la parte inferior de la pantalla se muestra los datos del sistema híbrido más económico, es decir el sistema más óptimo.

4.2.3. ESTUDIO ENERGÉTICO

Al igual que en el caso anterior, la simulación nos permite obtener los datos energéticos mensuales, así como el total anual. Los datos se encuentran desglosados para cada uno de los componentes del sistema. A continuación se muestra la tabla con los datos obtenidos.

Tabla 4.6: Tabla resultado de valores de energía y consumo mensuales proporcionados por el software iHoga.

MES	Consumo	Cons.AC	Fotov.	ENoServ	Exceso	E.Peaje.Resp
ENERO	260.5	260.5	405.1	158.2	286.2	106.4
FEBRERO	229.8	229.8	463.7	134.4	351.8	96.8
MARZO	254.8	254.8	577.0	146.7	451.7	108.5
ABRIL	253.3	253.3	507.3	143.0	378.6	111.5
MAYO	262.3	262.3	497.8	143.8	359.8	120.3
JUNIO	258.6	258.6	502.0	120.3	343.9	139.5
JULIO	272.0	272.0	551.8	130.2	388.5	143.9
AGOSTO	271.3	271.3	588.9	132.1	428.6	140.9
SEPTIEMBRE	259.0	259.0	575.4	125.6	422.7	133.9
OCTUBRE	250.8	250.8	487.1	142.3	360.4	110.0
NOVIEMBRE	249.2	249.2	394.5	150.6	279.2	103.5
DICIEMBRE	260.6	260.6	350.5	163.3	237.4	103.8

Los datos totales anuales se pueden ver a continuación:

Tabla 4.7: Tabla resultado de valores de energía y consumo anuales proporcionados por el software iHoga.

AÑO	Consumo	Cons.AC	Fotov.	ENoServ	Exceso	E.Peaje.Resp
TOTAL	3082.2	3082.2	5901.0	1690.3	4288.7	1419.0

Continuando con el estudio energético mensual, las gráficas de la energía mensual (kWh) consumida por el generador y la gráfica de energía no servida por el sistema autónomo nos permiten analizar el funcionamiento del sistema.

- **Generador FV:**

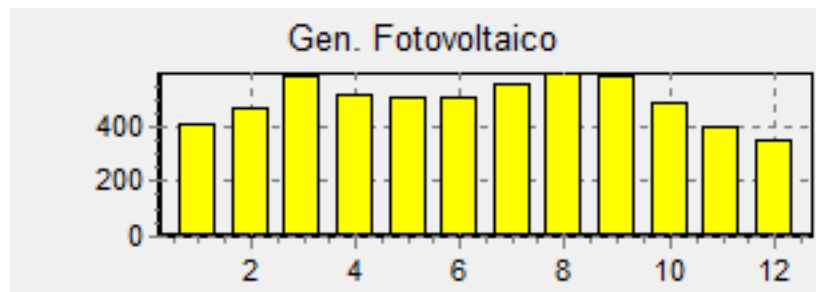


figura 4.26: Gráfica Energía mensual del generador FV proporcionada por el software iHoga.

- **Energía no servida por el sistema autónomo:**

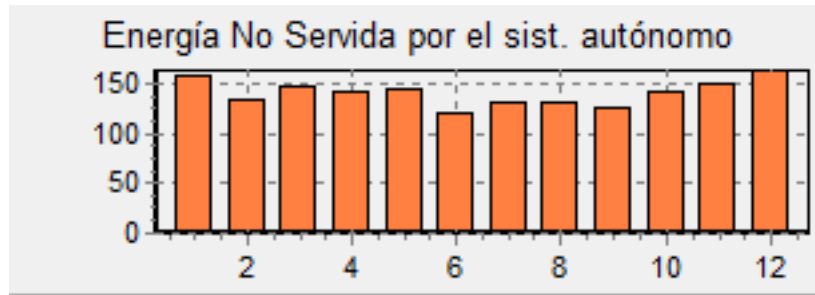


figura 4.27: Gráfica Energía No Servida por el sistema autónomo proporcionada por el software iHoga.

Observando ambas gráficas, se comprueba que el generador fotovoltaico está en funcionamiento en las horas con mayor radiación solar del día; mientras tanto los valores de energía no servida disminuyen durante este período.

Por último, se muestra el balance de energías de cada elemento del sistema a lo largo de un año:

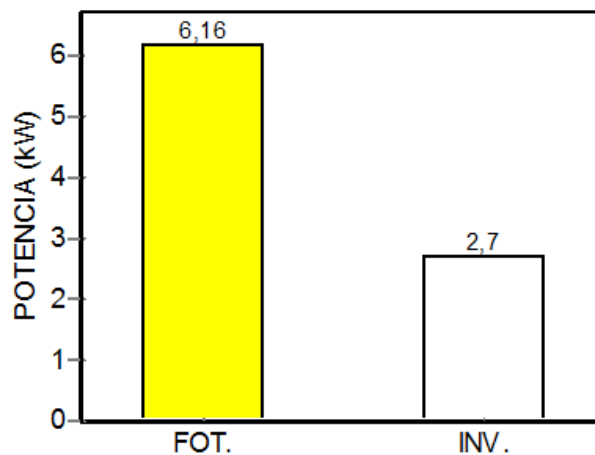


figura 4.28: Balance de energías de cada componente del sistema proporcionado por iHoga.

A continuación se muestra el estudio de 24 horas, de un día cualquiera del año.

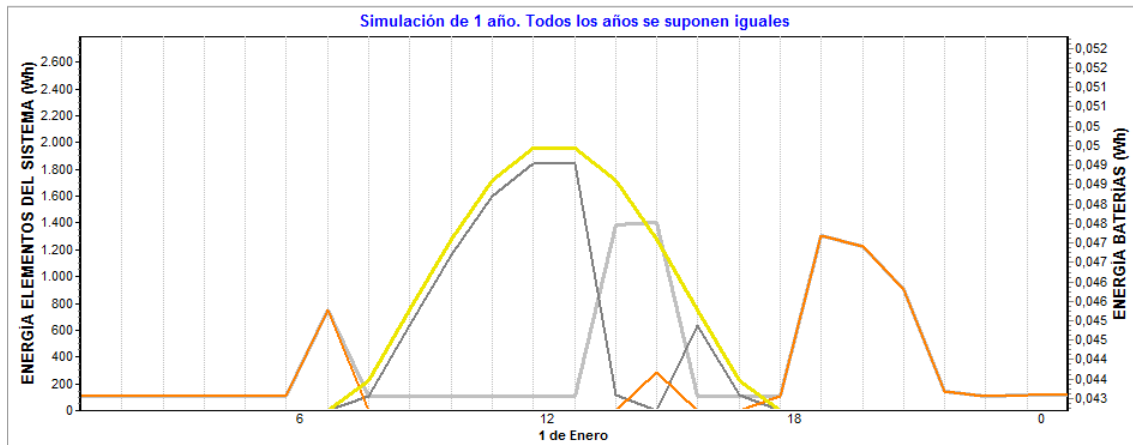
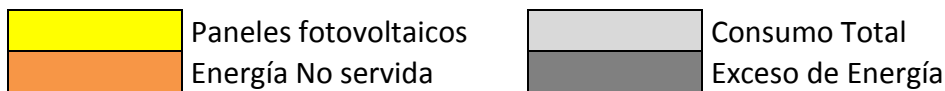


figura 4.29: Simulación estudio energético durante 24 horas.



En las horas iniciales del día, al no haber radiación solar, el sistema se abastece de la red eléctrica para cubrir la demanda energética de la vivienda. En cambio en las horas centrales del día, los paneles fotovoltaicos reciben la suficiente radiación solar como para abastecer la demanda del sistema por sí mismos. Al final del día, el funcionamiento es parecido a las primeras horas, ya que no hay luz solar.

Para terminar de comprender el funcionamiento del sistema, se muestra la gráfica de la potencia mensual y anual de generación de energía.

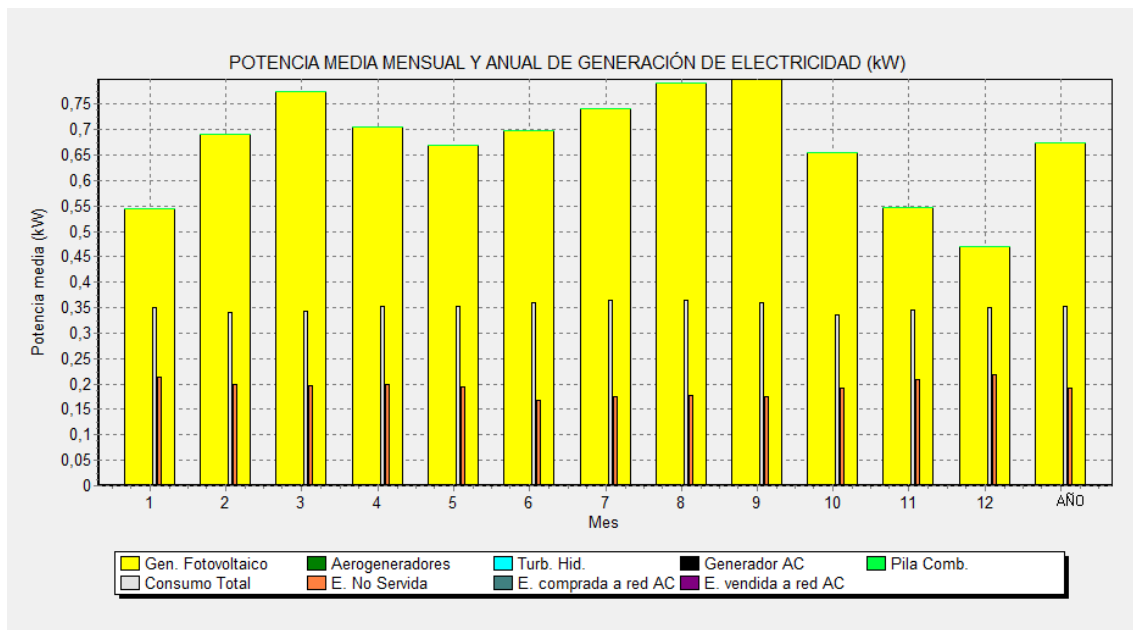


figura 4.30: Potencia media mensual y anual de generación de electricidad (kW).

4.2.4. ESTUDIO ECONÓMICO

De nuevo se realiza el estudio para 25 años de vida del sistema. iHoga proporciona el VAN de todos los costes incurridos durante el período de estudio.

Tabla 4.8: Tabla resultado de los costes referidos a VAN durante 25 años.

AÑO	Costes Gen.Fotov.	O&M Gen.Fotov.	Costes Inversor	Costes Financiación	TOTAL(Costes- Ingresos)
	VAN	VAN	VAN	VAN	VAN
0	7700.0	0.0	1800.0	1998.0	1998.0
1	0.0	114.8	0.0	1094.1	1208.9
2	0.0	112.5	0.0	1052.0	1164.6
3	0.0	110.4	0.0	1011.6	1122.0
4	0.0	108.3	0.0	972.7	1080.9
5	0.0	106.2	0.0	935.3	1041.4
6	0.0	104.1	0.0	899.3	1003.4
7	0.0	102.1	0.0	864.7	966.8
8	0.0	100.2	0.0	831.4	931.6
9	0.0	98.2	0.0	799.5	897.7
10	0.0	96.4	1482.3	768.7	2347.4
11	0.0	94.5	0.0	0.0	94.5
12	0.0	92.7	0.0	0.0	92.7
13	0.0	90.9	0.0	0.0	90.9
14	0.0	89.2	0.0	0.0	89.2
15	0.0	87.4	0.0	0.0	87.4
16	0.0	85.8	0.0	0.0	85.8
17	0.0	84.1	0.0	0.0	84.1
18	0.0	82.5	0.0	0.0	82.5
19	0.0	80.9	0.0	0.0	80.9
20	0.0	79.3	1220.7	0.0	1300.0
21	0.0	77.8	0.0	0.0	77.8
22	0.0	76.3	0.0	0.0	76.3
23	0.0	74.9	0.0	0.0	74.9
24	0.0	73.4	0.0	0.0	73.4
25	0.0	72.0	-553.9	0.0	-481.9
TOTAL	7700.0	2294.8	3949.1	11227.2	15671.2

La inversión inicial necesaria en este caso es de 9900€. De nuevo simulamos una financiación del 80% del capital necesario a diez años. La cuota anual del crédito es de 1137€.

También en este caso existen costes de mantenimiento todos los años, aunque son más reducidos, al ser sólo de los paneles fotovoltaicos.

El inversor utilizado tiene una vida útil de 10 años, por lo que será sustituido dos veces a lo largo de los 25 años. De nuevo suponemos un valor residual del equipo antiguo, que se usa para disminuir el coste del nuevo.

Sumando todos los costes, y restando los valores residuales al final del periodo, se obtiene el siguiente resultado final:

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN) → 9994,8 €

Coste Inversor (VAN) → 3949,1 €

COSTE TOTAL → 15.671€

Coste actualizado de la energía suministrada → 0,45 €

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje económico de la instalación fotovoltaica y el de la red eléctrica:

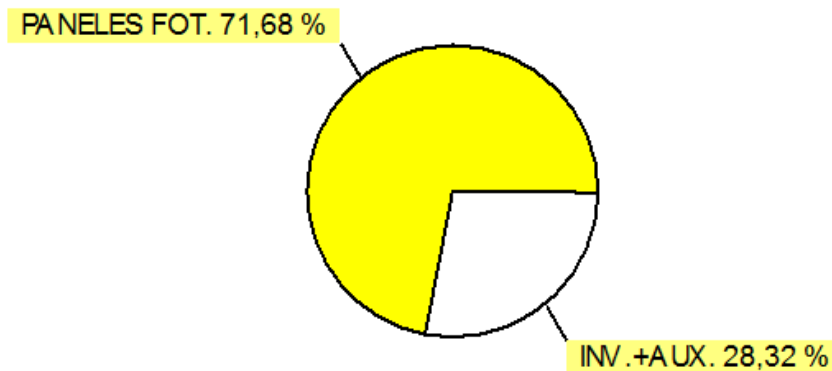


figura 4.31: Gráfico con el correspondiente porcentaje económico de cada elemento del sistema.

5. CONCLUSIONES

En el capítulo anterior se ha realizado el estudio de ambos sistemas. Para ello se ha realizado un estudio previo donde se han fijado unos parámetros de demanda energética y radiación solar para ambos sistemas. A continuación, se ha procedido a realizar el dimensionado de los componentes requeridos en cada configuración, así como sus respectivas simulaciones.

Una vez obtenidos y analizados los resultados de dichas simulaciones, se procede a comparar ambas configuraciones para determinar la más adecuada. La comparación se realiza para número y características de componentes, datos económicos y datos energéticos.

En la siguiente tabla se recogen los elementos de cada sistema, a modo de resumen:

Tabla 5.1: Elementos de cada instalación

CASO 1	CASO 2
PV Atersa: A280P (280Wp): 2s x 10p	PV Atersa: A280P (280Wp): 2S X 11P
OPZS-Hawker:TVS-7 (550 Ah):24s x 1p	-
XANTREX: XW4548-230 de 4000VA: 1	STECA: SOLARIX 1200X3 de 2700 VA
Generador AC Diésel 1,9 KVA: 1	-

Es notable la diferencia entre un sistema y otro. Es necesario tener en cuenta que en el primer caso, la instalación comprende tanto la generación de energía renovable como un sistema de apoyo autónomo, mediante generador, mientras que en el segundo escenario, el sistema de apoyo es la red eléctrica. En el segundo sistema, además, se ha prescindido de baterías, por lo que es necesario utilizar un panel más para abastecer los picos de consumo diurnos sin recurrir a la red.

Las baterías precisamente permiten un consumo de la energía fotovoltaica durante todo el día, recurriendo al generador únicamente cuando la energía total diaria consumida exceda la que las placas son capaces de captar. En el segundo escenario, en cambio, el consumo de la energía fotovoltaica debe ser simultáneo a su producción.

En términos energéticos, se resumen los dos sistemas en la siguiente tabla:

Tabla 5.2: Resumen de ambos sistemas en términos energéticos

RESULTADOS ENERGÉTICOS			
	CASO 1		CASO 2
Energía Generada	Fotovoltaica	Diésel	Fotovoltaica
	4785,4	73,5	5901,1
Consumo	3082,2		3082,2
Exceso Energético	879,1		4288,7

En el sistema híbrido, el consumo energético se abastece por medio de los paneles fotovoltaicos y el generador diésel. Al disponer de baterías, es posible aprovechar en su totalidad la energía generada por los paneles solares. En el segundo caso, si el sistema incluyese un sistema de acumulación, la instalación fotovoltaica cubriría la totalidad de la demanda energética. Al no existir dicho sistema, no es posible aprovechar gran parte de esta energía, que es vertida a la red. En las horas en que la producción fotovoltaica no alcanza a cubrir la demanda, esta se cubre con el suministro de la red.

El consumo energético es igual en ambos sistemas, lo cual simplifica la comparación de ambos.

En el primer caso, el exceso energético representa energía producida cuando las baterías están llenas y se produce más energía de la que se consume. En el caso dos, es toda la producción energética que no se consume en el acto.

El escenario ideal sería aquel con un exceso energético cero. Sin embargo, alcanzar esta situación requeriría una inversión mayor en baterías, que económicamente no resulta viable.

En términos económicos, se adjunta la siguiente tabla:

Tabla 5.3: Resumen de ambos sistemas en términos económicos

RESULTADOS ECONÓMICOS		
	CASO 1	CASO 2
Inversión inicial	15.649	9900
Coste Total del Sistema (VAN)	27.352	15.671
€/kWh	0,35	0,45

El coste total del sistema (VAN) es el resultado de los movimientos económicos correspondientes a los costes de adquisición, reemplazo, mantenimiento e ingresos. Como podemos observar en el caso 1 (Sistema híbrido) los costes son superiores al caso 2. Esta diferencia se debe al mayor número de elementos del primer sistema, sobre todo las baterías, cuyo coste es elevado.

Atendiendo al coste por kW, vemos que la instalación más barata presenta el coste más elevado. Esto se explica porque la ausencia de baterías obliga a comprar electricidad a la red siempre que la energía fotovoltaica no es suficiente.

Si calculamos el gasto total en energía durante los 25 años, tenemos las siguientes conclusiones

Tabla 5.3: Cálculo del coste real de la energía consumida

	CASO 1	CASO 2
Consumo energético total	77.055	77.045
Coste por kW/h	0,35€	0,45€
Coste total	12.136,26€	34.674,75€
Coste del sistema	27.352€	15.671€
Coste real de la energía en los 25 años	39.488,26€	50.345,75€

En conclusión, tras calcular el coste real de la energía, queda demostrado que la primera alternativa (Sistema híbrido aislado) es la opción más rentable, a pesar de que en un principio el coste del sistema parezca superior al del segundo caso.

6. PRESUPUESTO

A continuación, se detalla el presupuesto del presente trabajo.

- **Costes de Ingeniero del proyecto**

Como costes se tienen en cuenta las horas invertidas por el autor durante todo el proyecto, como Ingeniero Junior.

INGENIERÍA DE PROYECTO			
Concepto	Dedicación horas/hombre [horas]	Coste hora	Coste Total
Investigación Bibliográfica	100 horas [Horas Ingeniería Junior]	40 €	4000
Estudio Previo parámetros	40 horas [Horas Ingeniería Junior]	40 €	1600
Simulaciones	50 horas [Horas Ingeniería Junior]	40 €	2000
Elaboración de Documentación	80 horas [Horas Ingeniería Junior]	40 €	3200
TOTAL			9.200 €

- **Costes de Equipos y Software**

En este apartado se mencionan varios productos de software de coste cero. En el caso de Microsoft Excel y Word se debe al acuerdo de la Universidad Carlos III con el fabricante de Microsoft, que permite acceder a los alumnos a distintos programas con coste cero siempre que se utilicen para fines académicos. En cuanto al software iHoga, sucede exactamente lo mismo, ya que hemos utilizado la versión educativa que solo puede utilizarse en ámbitos formativos o educativos.

EQUIPOS Y SOFTWARE			
Concepto	Dedicación horas/hombre [horas]	Coste hora	Coste Total
Programa de simulación iHoga	50 horas	-	0 €
Microsoft Word	100 horas	-	
Microsoft Excel	20 horas	-	
Equipo informático auxiliar	6 meses		480 €
TOTAL			480 €

- **Otros Costes directos del proyecto:**

Dentro de este apartado se incluyen las horas de trabajo de nuestro tutor en calidad de Ingeniero Sénior.

OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO			
Concepto		Coste Unitario	Coste Total
Tutorías	30 horas [Horas Ingeniería Sénior]	90 €	2.700 €
Gastos de Universidad	12 créditos	57,13 €	685,56 €
Transporte	80 litros	1,098€/litro	87,84
TOTAL			3.473,40 €

- **Resumen de presupuesto:**

RESUMEN DE PRESUPUESTO	
Concepto	Importe en €
Ingeniería de Proyecto	9.200 €
Equipos y Software	480 €
Otros costes directos del proyecto	3.473,40 €
TOTAL	13.153,40 €

- **Costes Totales:**

PRESUPUESTO COSTES TOTALES	
Total Presupuesto	Importe en €
Total Presupuesto	13.153,40 €
Beneficio Industrial (6%)	789€
Subtotal	13.943 €
18% IVA	2.509,67 €
TOTAL	16.452,27 €

“El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de dieciséis mil cuatrocientos cincuenta y dos con veintisiete euros”

Madrid a 27 de septiembre de 2015

El Ingeniero Proyectista

7. TRABAJOS FUTUROS

7.1 Simulación de un Sistema Híbrido aislado con energía geotérmica

El sistema estudiado en este trabajo combina energía solar con aerotermia. Una alternativa que se descartó inicialmente fue la de sustituir aerotermia por geotermia, porque el tamaño de la instalación era demasiado pequeño. No obstante, puede ser interesante comparar cómo de desaconsejable es la opción geotérmica, simulando una instalación y comparando los resultados de ambos modelos.

7.2 Simulación de un Sistema sin energías renovables

Para cuantificar el ahorro en combustibles fósiles al utilizar una instalación con energías renovables en una vivienda aislada de la red eléctrica, se podría simular un escenario en el que toda la energía se obtiene de un generador diésel.

7.3 Comparativa entre instalaciones individuales y colectivas

En la actualidad, todos consumimos energía de origen renovable, como parte del suministro que llega a través de la red. Sin embargo, ¿Es más eficiente disponer de nuestra propia infraestructura de generación energética? Existen claras ventajas, como la seguridad sobre el precio de la energía en el futuro, ya que sólo depende de los costes de la instalación, pero también inconvenientes, como la dependencia de factores incontrolables como la meteorología. Llegar al fondo de este asunto con profundidad requiere un estudio muy detallado de numerosos factores, mezclando además diversos campos: Ingeniería, economía, estadística, etc.

7.4 Determinación del momento de compra de la instalación

El precio de los paneles solares se encuentra en constante caída. En el caso de la instalación conectada a red, puede darse la circunstancia de que compense económicamente seguir consumiendo energía de la red eléctrica, a la espera de que el presupuesto de la instalación renovable descienda. Este trabajo entraría más en el campo de la economía que en el de la ingeniería, pero sería una oportunidad interesante para cualquier ingeniero interesado en las energías renovables, ya que se enfrentaría a una situación común en el contexto actual de su futura profesión.



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Dufo López, iHoga versión 2.2. Manual del usuario.** Zaragoza: Departamento de ingeniería Eléctrica, Universidad de Zaragoza, 2014.
- [2] **Real Decreto 314/2006** de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 28-marzo-2006).
- [3] **BOE 12/09/2013** se publica la versión del **DB HE** con corrección de errores en el BOE del 08/11/2013
- [4] Página web del **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.**
- [5] **Directiva de Ecodiseño ErP** o Directiva 2009/125/CE, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- [6] **Real Decreto 1027/2007**, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- [7] **Pilar Cereceda, Ana María Errázuriz y Juan de Dios Rivera;** Energía. Para Conocer, Decidir y Proteger.(2013)
- [8] **Castro Gil, M. & Sanchez Naranjo, C. Energía Hidráulica.** Promotora General de Estudios, S.A.
- [9] **White, Frank (2008). Mecánica de fluidos (6ª edición).** McGraw-Hill
- [10] Post **La Aerotermia fuente de energía renovable para calefacción, refrigeración y/o ACS**, publicado en www.certificadosenergéticos.com y escrito por la arquitecta Paula Yuste.
- [11] **Wilfredo Jara Tirapegui , Introducción a las Energías Renovables no convencionales** publicado por endesaeco.
- [12] **Francisco Javier André, Luis Miguel de Castro, Emilio Cerdá. Las energías renovables en el ámbito internacional.** Universidad Complutense de Madrid.
- [13] Publicado por **REN21** (Red mundial de políticas en energía renovable). **Renewables 2014. Global Status Report.**
- [14] **International Energy Agency. World Energy Outlook 2014.**
- [15] **Plan Energético Nacional 1991-200.**
- [16] Página oficial de **Red Eléctrica España.** www.ree.es



- [17] **Guía de la Energía Solar** publicada por **FENERCOM** (Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid)
- [18] **Calvin J.Hamilton**, [www.Solarviews.com]. [Consulta 08-01-2015]
- [19] **Miguel Alonso Avella, Sistemas Fotovoltaicos**, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), pag. 3-8.
- [20] **Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, Energía solar fotovoltaica**, Ed: Ibergaphi S.L.L; 2007. ISBN: 9788493504960.
- [21] **Funcionamiento de las centrales nucleares** publicado por **UNESA** (Asociación Española de la Industria Eléctrica).
- [22] **Francisco Javier Rey Martínez, Eloy Velasco Gómez. Bombas de calor y Energías renovables en edificios**. S.A. EDICIONES PARANINFO
- [23] **La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos** publicado por **AFEC** (Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización).
- [24] **Hibridación energética con gas natural fenosa** publicado por **Fundación Gas Natural Fenosa**.
- [25] V. Salas, **Híbridos Aislados de Grand Potencia**, Solar News, 56, 2014.
- [26] **Hibridación Fotovoltaica aislada: configuraciones-topologías**, Solar News, 49, pags., 22-27, 2013
- [27] V. Salas et al., **El inversor híbrido: nuevo concepto para el autoconsumo fotovoltaico**, págs. 30-33, Solar News, 52, 2014
- [28] International Finance Corporation, **Utility Scale Solar Power Plant**, pag; 24-28, 2012.
- [29] **Módulos Fotovoltaicos** publicado por la Universidad de Castilla y la Mancha.
- [30] International Finance Corporation, **Utility Scale Solar Power Plant**, pag; 24-28, 2012.
- [31] V. Salas, **Control de los sistemas híbridos autónomos de gran potencia**, Solar News, 55, 2014
- [32] **Guía técnica sobre manejo de baterías de plomo-ácido** publicado por el Ministerio de Medio Ambiente de Chile.



- [33] V. Salas, **Inversores fotovoltaicos compactos aislados híbridos de pequeña y media Potencia (800 W-300 kW)**, Solar News, 57, 2015.
- [34] **Dr. Rodolfo Dufo López, Dr. José Luis Bernal Agustín, HOGA** (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) programa para la simulación y optimización de Sistemas Híbridos de Energías Renovables.
- [35] **Julio García del Junco, Cristóbal Casanueva Rocha; Fundamentos de Gestión Empresarial**, PIRAMIDE, 2005.
- [36] **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- [37] **Documento radiación solar** publicado por **AEMET** (Agencia Estatal de Metereología)
- [38] **Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red**, pag. Anexo I, 2009. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (**IDAE**).
- [39] **Lluís Prats Viñas, Dimensionado de sistemas fotovoltaicos**. Profesor del departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- [40] **Informe de Coeficiente de rendimiento** publicado por la empresa **Solar Technology AG (SMA)**, líder mundial en la fabricación de inversores solares y la monotorización de instalaciones fotovoltaicas.



9. ANEXOS

9.1. Hojas de características



➔ Módulo fotovoltaico
A-280P / A-285P



+ UltraTolerancia positiva
Positiva 0 / +5 Wp

+ UltraCalidad
Anti Hot-Spot

+ UltraGarantía
10 años de garantía de producto

+ UltraFiabilidad
En el mercado desde 1979

+ UltraResistencia
Cristal templado de 4 mm

+ UltraTES
Verificación eléctrica célula a célula



Sistema único en el mercado, patentado por Atersa.

Para una información más detallada de los términos de la garantía, consulte:

➔ www.atersa.com

Nueva gama Ultra con Tolerancia positiva

Nueva gama Ultra con Tolerancia positiva

Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

	A-280P	A-285P
Potencia Nominal (0/+5 W)	280 W	285 W
Eficiencia del módulo	14,39%	14,65%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	7,93 A	8,00 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	35,33 V	35,63 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,45 A	8,56 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	44,37 V	44,52 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

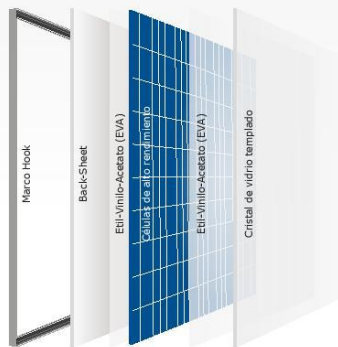
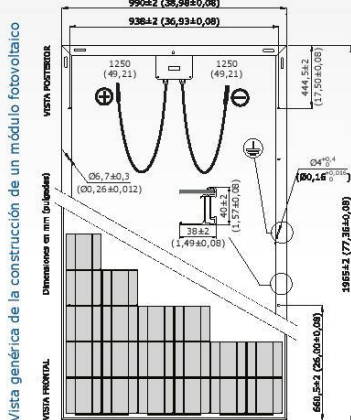
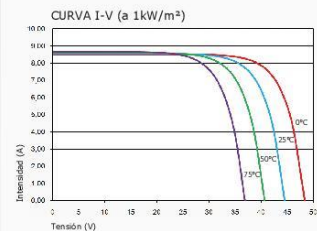
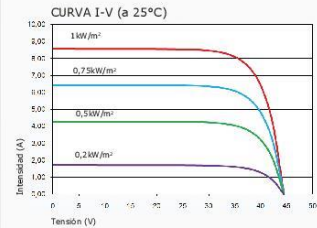
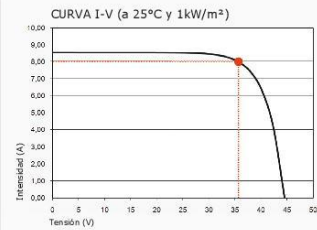
Dimensiones (mm ± 2 mm)	1965x990x40
Peso (kg)	24
Área (m ²)	1,95
Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 4 mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	Cable Solar 4 mm ² 1250 mm
Conectores	MC4 o combinable MC4

Rango de funcionamiento

Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m ²)
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-285P



- Módulos por caja: **25 uds**
- Peso por palé: **680 kg**
- En un contenedor de 40 pies entran 21 cajas: **525 paneles**
- En un contenedor de 40 pies HC entran 22 cajas: **550 paneles**
- En un contenedor de 20 pies entran 9 cajas: **225 paneles**
- En un camión TAUTLINER entran 26 cajas: **650 paneles**



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com

Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111 • Italia +39 039 226 24 82 • Alemania +49 151 153 988 44

Revisado: 29/01/13
Ref.: MU-6P (2) 6x12-N
© Atersa SL, 2012

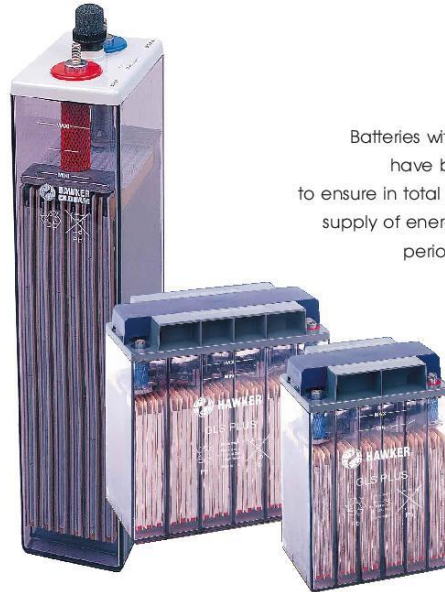




TUBULAR VENTED CELLS

High performance solar series in transparent container

- Rural housing
- Telecommunications
- Buoys
- Lighting/Instrumentation



Batteries with tubular positive plates have been specially designed to ensure in total safety an uninterrupted supply of energy during low sunshining periods and during the night. Their good resistance in cycling and the low water consumption permit a long life expectancy with reduced maintenance.

FEATURES AND BENEFITS

RELIABILITY AND ROBUSTNESS:

- positive tubular plates diecast for longer life duration
- Lead antimony alloy limiting the self-discharge rate and optimizing the number of cycles for a long life expectancy.

INSTALLATION AND MAINTENANCE:

- insulated and bolted connectors
- large electrolyte reserve for yearly watering.

SAFETY:

- insulation of connectors and terminals ensures personnel safety
- each cell is equipped with a acidproof, flame arrestor plug.

Notice: all cells are available in dry charged.

STANDARDS:

the manufacture of this range is in fully compliance with the ISO 9001 standard.



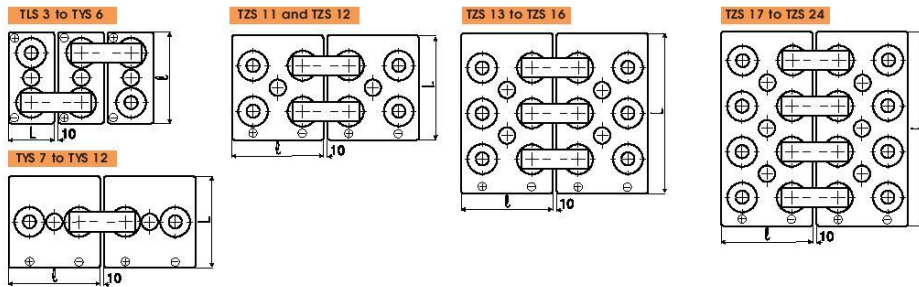
Tubular vented cells high performance solar series in transparent container

The specific lead antimony alloy used for the tubular positive plate and a **1.240 specific gravity at 25°C** at max. level provide to this range good performance and long life expectancy for energy storage in solar and wind-driven systems, and with long maintenance interval for watering.

TECHNICAL CHARACTERISTICS PER CELL

TYPE	Number of terminals	Capacity in Ah			Dimensions in mm			Weight in kg		Acid volume (l)
		T° 25°C			Length (L)	Width (l)	Height	Dry weight	Filled weight	
		10 h (1.80V)	120 h (1.85V)	240 h (1.85V)						
TLS 3	2	180	245	256	103	206	389	11.4	16.4	4.1
TLS 4	2	220	300	313	103	206	389	13.6	18.4	3.9
TLS 5	2	270	367	383	124	206	389	16.1	22.2	4.9
TLS 6	2	323	440	460	145	206	389	18.8	26	5.8
TYS 4	2	340	460	481	124	206	505	18.5	27	6.9
TYS 5	2	390	530	554	124	206	505	21.5	29.7	6.6
TYS 6	2	470	640	669	145	206	505	24.9	34.7	7.9
TYS 7	2	550	745	778	166	206	505	28.4	39.8	9.2
TYS 5	2	590	802	838	145	206	684	29.9	43.9	11.3
TYS 6	2	670	915	956	145	206	684	34	47.7	11
TYS* 7	2	816	1 120	1 170	191	210	684	40.6	59	14.8
TYS* 8	2	900	1 220	1 275	191	210	684	44.7	62.7	14.5
TYS* 9	2	1 040	1 415	1 478	233	210	684	50.4	73.1	18.3
TYS* 10	2	1 120	1 523	1 591	233	210	684	54.5	76.8	18
TYS* 11	2	1 260	1 714	1 790	275	210	684	60.1	87.3	21.9
TYS* 12	2	1 340	1 825	1 910	275	210	684	64.2	91	21.6
TZS 11	4	1 560	2 130	2 225	275	210	829	78.8	112.9	27.5
TZS 12	4	1 710	2 335	2 440	275	210	829	84	117.6	27.1
TZS 13	6	1 940	2 640	2 758	399	214	813	97.9	147.1	39.7
TZS 14	6	2 040	2 775	2 899	399	214	813	102.5	151.7	39.6
TZS 15	6	2 150	2 925	3 056	399	214	813	108.2	156.4	38.9
TZS 16	6	2 240	3 050	3 187	399	214	813	118.3	161	38.9
TZS 17	8	2 430	3 310	3 458	487	212	813	126.2	186.3	48.5
TZS 18	8	2 555	3 480	3 636	487	212	813	131.8	191	47.8
TZS 20	8	2 800	3 810	3 981	487	212	813	141.1	200.1	47.6
TZS 22	8	3 090	4 210	4 400	576	212	813	156.2	227.8	57.7
TZS 24	8	3 360	4 580	4 785	576	212	813	167.5	237.3	56.3

All the weights and dimensions are subject to normal production tolerances.



Monoblocs (12 V and 6 V) in transparent container

TECHNICAL CHARACTERISTICS PER BLOC

TYPE	Capacity in Ah			Dimensions in mm			Weight in kg		Acid volume (l)
	T° 25°C			Length	Width	Height	Dry weight	Filled weight	
	10 h (1.80V)	120 h (1.85V)	240 h (1.85V)						
GLS 12,60 12V	62	76	80	272	205	380	22.0	34.8	10.3
GLS 12/100 12V	108	141	148	272	205	380	32.3	44.4	9.8
GLS 12/150 12V	162	212	222	380	205	380	45.7	63.6	14.4
GLS 6,210 6V	216	283	296	272	205	380	30.3	43.3	10.5
GLS 6,270 6V	270	374	392	380	205	380	38.6	57.0	15.0
GLS 6,310 6V	324	424	444	380	205	380	43.8	62.2	14.8



OLDHAM FRANCE
Rue Alexander Fleming - Z.I. Est - B.P 962 - 62033 ARRAS Cedex
Tél. : (33) 03 21 60 25 25 - Fax. : (33) 03 21 73 16 51
An Invensys Company



Smart choice for power™

xantrex™

Xantrex™ XW Hybrid Inverter/Charger

230 Vac / 50 Hz models



The NEXT generation inverter/charger for renewable energy systems and backup power applications

Xantrex™ brings the next generation of inverter/charger to market with the XW Hybrid Inverter/Charger, the heart of the XW System. Designed for off-grid and backup power applications, the XW can operate with generators and renewable energy sources to provide reliable power every time.

The XW Hybrid Inverter/Charger (XW) is a true sine wave inverter/charger that incorporates a DC to AC inverter, a battery charger, and an AC auto-transfer switch. It is the foundation for battery-based residential applications up to 18 kilowatts (kW), and commercial applications up to 36 kW in a three-phase configuration.

Designed with consultation and input from industry experts, dealers, and installers, the XW sets a new standard for battery-based inverter/chargers. Integrating the best features available in the market, innovative new features by Xantrex and balance-of-systems components, the XW Hybrid Inverter/Charger's design makes installation quicker and easier. The XW offers high efficiency and unprecedented surge capacity to maximize the owner's return on investment. No other inverter/charger looks or performs like the XW.

Product Features

- ▶ True sine wave output
- ▶ Single phase (230 Vac) and three phase (400/230 Vac) configurations possible
- ▶ Dual AC inputs
- ▶ Several units can be connected in parallel
- ▶ XanBus™-enabled network communication
- ▶ Unprecedented surge capacity
- ▶ Efficient, power factor corrected, high-current, multistage battery charging

Optional Accessories

Item Part Number:

XW Conduit Box	865-1025
XW Solar Charge Controller	865-1030
XW System Control Panel	865-1050
XW Automatic Generator Start	865-1060

For more information on the XW System please visit www.xantrex.com/xw

Xantrex Technology Inc.

Headquarters

8999 Nelson Way
Burnaby, British Columbia
Canada V5A 4B5
800 670 0707 Toll Free
604 420 1591 Fax

Edificio Diagonal 2A
C/Constitució n 3, 4ª, 2ª
08960 Sant Just Desvern
Barcelona, Spain
+34 93 470 5330 Tel
+34 93 473 6093 Fax
europesales@xantrex.com

www.xantrex.com

Smart choice for power™

xantrex™

XW Series Hybrid Inverter/Charger - 230 Vac / 50 Hz Models

Electrical Specifications			
	XW6048-230-50	XW4548-230-50	XW4024-230-50
Continuous output power	6,000 W	4,500 W	4,000 W
Surge rating	12,000 W	9,000 W	8,000 W
Surge current	53 A rms	40 A rms	35 A rms
Waveform	True sine wave	True sine wave	True sine wave
Peak efficiency	95,4 %	95,6 %	94,0 %
Idle consumption - search mode	< 7 W	< 7 W	< 7 W
AC connections	AC1 (grid), AC2 (generator)	AC1 (grid), AC2 (generator)	AC1 (grid), AC2 (generator)
AC input voltage range (bypass/charge mode)	156 to 280 Vac (230 V nominal)	156 to 280 Vac (230 V nominal)	156 to 280 Vac (230 V nominal)
AC input frequency range (bypass/charge mode)	40 to 68 Hz (50 Hz nominal)	40 to 68 Hz (50 Hz nominal)	40 to 68 Hz (50 Hz nominal)
AC output voltage	230 Vac +/- 3%	230 Vac +/- 3%	230 Vac +/- 3%
Maximum AC pass through current	56 A	56 A	56 A
AC output continuous current	26,1 A	19,6 A	17,4 A
AC output frequency	50 Hz +/- 0,1 Hz	50 Hz +/- 0,1 Hz	50 Hz +/- 0,1 Hz
Total harmonic distortion	< 5% at rated power	< 5% at rated power	< 5% at rated power
Typical transfer time	8 ms	8 ms	8 ms
DC current at rated power	131 A	96 A	178 A
Utility-interactive	Disabled (default), AC voltage range 198 to 253 Vac, AC frequency range 49,1 to 50,9 Hz		
DC input voltage range	44 to 64 V	44 to 64 V	22 to 32 V
Continuous charge rate	100 A	85 A	150 A
Power factor corrected charging	PF (0,98)	PF (0,98)	PF (0,98)
Mechanical Specifications			
Mounting	Wall mount, backplate included		
Inverter dimensions (H x W x D)	580 x 410 x 230 mm (23 x 16 x 9")		
Inverter weight	57 kg (125 lb)	52 kg (115 lb)	52 kg (115 lb)
Shipping dimensions	711 x 565 x 267 mm (28 x 22.25 x 10.5")		
Shipping weight	60 kg (132 lb)	55 kg (122 lb)	55 kg (122 lb)
Supported battery types	Flooded (default), Gel, AGM, custom		
Battery bank size	100 to 10000 Ah		
Battery temperature sensor	Included	Included	Included
Non volatile memory	Yes	Yes	Yes
Display panel	Status LEDs indicate AC In status, faults/warnings, equalize mode, On/Off and equalize button battery level. Three-character display indicates output power or charge current		
Multiple unit configurations	Single phase: up to 3 parallel units. Three-phase: 1 unit per phase		
System network	Xanbus™	Xanbus™	Xanbus™
Warranty	5 years	5 years	5 years
Part number	865-1035	865-1040	865-1045
Environmental specifications			
Enclosure type	IP 20 (sensitive electric components sealed inside enclosure)		
Operational temperature range	-25 to 70 °C	-25 to 70 °C	-25 to 70 °C
Accessories			
Remote display	Optional XW System Control Panel monitors and configures all devices connected to Xanbus™ Network		
Generator support	Optional XW Automatic Generator Start module connects to Xanbus™ Network. Automatically activates generator to recharge depleted battery bank or assist inverter with heavy loads		
Conduit Box	Optional XW Conduit Box encloses the bottom of the inverter and protects the cabling. Provides knockouts for 3/4" (20 mm), 1" (25 mm), 1.25" (32 mm), 2.25" (60 mm), and 2.5" (65 mm) conduit		
Solar Charge Controller	Optional XW Solar Charge Controller with maximum power point tracking delivers the maximum energy available from the PV array to the battery bank		
Regulatory Approval			
CE marked according to the following EU directives and standards: EMC Directive: EN61000-6-1, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3; Low Voltage Directive: EN50178			

Specifications subject to change without notice.

© 2008 Xantrex Technology Inc. All rights reserved. Xantrex and smart choice for power are trademarks of Xantrex International, registered in the U.S. and other countries.