UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Instalación fotovoltaica con gestión de baterías

Autor:

Rioja Virumbrales, Rubén

Tutor(es):

Pérez García, Julián Manuel
Ingeniería Eléctrica

Valladolid, septiembre 2024

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio de la viabilidad de emplear una gestión energética de baterías en una instalación fotovoltaica. Para lo cual inicialmente haremos un dimensionamiento para conocer la potencia necesaria a instalar y una estimación de la capacidad que deberán tener las baterías.

Debido a que se trata de un contrato de mucha potencia de red no habrá muchas ofertas de comercializadoras con las que podremos evaluar a nivel económico.

Finalmente comprobaremos a una escala económica que tan viable y/o rentable es la implementación de la gestión de la energía de las baterías.

ABSTRACT

This work studies the feasibility of using battery energy management in a photovoltaic installation. Initially, we will size the system to determine the necessary power to install and estimate the capacity the batteries should have.

Since it is a high-power network contract, there will not be many offers from suppliers to evaluate economically.

Finally, we will check on an economic scale how viable and/or profitable the implementation of battery energy management is.

PALABRAS CLAVE

Fotovoltaica, Baterías, Gestión, Estudio, Económico

KEY WORDS

Photovoltaic, Batteries, Management, Study, Economic

Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Índice

1. Introducción 1
1.1. Justificación 1
1.2. Objetivo 1
1.3. Metodología 2
2. El autoconsumo 3
3. Ubicación 5
4. Datos 7
4.1. Radiación. 7
4.2. Consumo. 9
5. Sistema de gestión 11
6. Componentes 15
6.1. Placas 15
6.2. Inversor 17
6.3. Batería 18
7. Dimensionado de la instalación fotovoltaica 19
7.1. Aproximación por consumos 19
7.2. Aproximación por Excel 20
7.3. PVsyst 22
7.4. Global Solar Atlas 23
8. Algoritmo de gestión 25
9. Análisis energéticos 29
9.1 Instalación sin acumulación 29
9.2 Instalación con acumulación 30
10. Análisis económico 33
10.1. Instalación sin acumulación 33
10.2. Instalación con acumulación 35
10.2.1 Batería sin gestión 35
10.2.2 Batería con gestión 36
11. Conclusión 39
12. Bibliografía 41

Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:Precio promedio paneles 4
Ilustración 2: Ubicación 5
Ilustración 3: Trayecto desde Belorado 5
Ilustración 4: Vista superior de la explotación 6
Ilustración 5: Vista desde la carretera 6
Ilustración 6: Zona elegida para instalación 7
Ilustración 7: Mapa de radiación solar en España 7
Ilustración 8: Zonas Solares España 8
Ilustración 9: Gráfica de recorrido solar y sombras 8
Ilustración 10: Mapa radiación promedia por hora cada mes del año [W/m^2] 9
Ilustración 12: Curva I-W y potencia del panel EM550-PH 15
Ilustración 11: Curvas I_V, Temperatura e Irradiación del panel EM550-PH 15
Ilustración 14: Dimensiones del panel EM550-PH 16
Ilustración 13: Precio del panel EM550-PH 16
Ilustración 15: Precio del inversor 17
Ilustración 16: Características del inversor 17
Ilustración 17: Curvas de rendimiento 17
Ilustración 18: Precio del paquete de baterías 18
Ilustración 19: Gráfica de probabilidad de producción anual 23
Ilustración 21: GSA para 50 kWp 24
Ilustración 20: GSA para 55 kWp 24
Ilustración 22: Comparación precios en relación con la capacidad 35

Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Índice de Tablas

Tabla 1: Consumo promedio por hora cada mes del año 9
Tabla 2: Datos viernes cualquiera de abril 12
Tabla 3: Operaciones y estados 13
Tabla 4:: Ejemplo consumo [kWh] e irradiación[kWh/m^2] medios de enero y febrero..
..... 20
Tabla 5: Resultados ahorro energético y económico para 25 kW solo con placas 21
Tabla 6: Resultados ahorro energético y económico para 40 kW solo con placas 21
Tabla 7: Comparación diferentes potencias 21
Tabla 8: Resultados de PVsyst para 47.5 kWp instalados 22
Tabla 9: Ejemplo de decisión de un día cualquiera 25
Tabla 10: Estado de la batería y actuación final de energía 27
Tabla 11: Ejemplo de compra limitada por potencia contratada 27
Tabla 12: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas sin baterías 29
Tabla 13: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas y baterías gestionadas .
..... 30
Tabla 14: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas y baterías sin gestión.31
Tabla 15: Coste económico y cálculo del ahorro con placas sin baterías 34
Tabla 16: Amortización instalación placas 34
Tabla 17: Ahorro con batería sin gestión 36
Tabla 18: Ahorro con batería con gestión 36
Tabla 19: Amortización de instalación fotovoltaica con acumulación sin gestión 37
Tabla 20: Amortización de instalación fotovoltaica con acumulación con gestión..38
Tabla 21:Comparación estudios económicos 38

Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

1. Introducción

1.1. Justificación

La justificación para el diseño de una instalación de autoconsumo se centra en la búsqueda de la máxima rentabilidad. Se han seleccionado tres escenarios de instalación distintos para su estudio: una configuración con solo placas solares, otra con placas solares y baterías sin gestión, y una tercera que incluye tanto baterías como gestión de energía. El objetivo principal es disminuir los costos energéticos en una industria porcina y, si las circunstancias lo permiten, generar beneficio económico.

Esta estrategia permite evaluar las ventajas y desventajas de cada opción, considerando factores como el costo inicial, el mantenimiento, la eficiencia energética y la posibilidad de almacenamiento y gestión. Al comparar estos casos, se espera identificar la solución más optima que no solo reduzca los gastos energéticos, sino que también proporcione una fuente de ingresos a través de la venta de excedentes energéticos.

La implementación exitosa de esta instalación fotovoltaica podría marcar un hito en la sostenibilidad y eficiencia energética del sector porcino, estableciendo un precedente para otras industrias en su búsqueda de soluciones energéticas rentables y ecológicas.

1.2. Objetivo

El propósito de este trabajo es establecer las especificaciones técnicas para la implementación de una instalación fotovoltaica en una explotación porcina. Nuestro enfoque se centra en determinar las características técnicas de cada componente, así como el rendimiento global y el consumo energético de la explotación.

La estrategia de diseño busca no solo satisfacer las necesidades energéticas actuales, sino también generar excedentes que puedan ser comercializados. Esta aproximación permite una recuperación más rápida de la inversión inicial y contribuye a la sostenibilidad económica a largo plazo.

Además, la instalación fotovoltaica promete una significativa disminución en los costos operativos, reduciendo la factura económica y la huella de carbono asociada. De este modo la explotación porcina se posiciona como un modelo de eficiencia y responsabilidad ambiental.

1.3. Metodología

Para la realización de este proyecto primero debemos obtener una serie de datos, así como:

- Datos de consumo
- Emplazamiento de la explotación
- Ubicación de los paneles
- Datos meteorológicos (radiación, temperatura, nubosidad…)

Al momento de dimensionar la instalación emplearemos diferentes sistemas de cálculo para así obtener diferentes resultados y realizar un predimensionamiento inicial más fiable, de tal forma que cada método tiene en cuenta diferentes parámetros, como Tª media mensual, semanal o anual, diferentes coeficientes de pérdidas y las sombras; para nuestro el caso el más fiable será el aportado por PVsyst, ya que tiene en cuenta los componentes empleados, la altura, sombras, además de tratarse de un software específico para estos casos:

- Fórmula
- Datos extendidos en Excel
- PVsyst
- Global Solar Atlas

De los diferentes resultados obtenidos sacaremos una conclusión que será con la que trabajaremos. Y a partir de este punto haremos los estudios económicos de los tres métodos (solo placas, con baterías sin gestión, y con baterías y con gestión) que emplearemos. Para finalmente decidir cuál es el más rentable económicamente.

Para llevar a cabo el posterior estudio de la viabilidad económica de la gestión emplearemos datos energético y económicos de todo un año por horas, lo que nos da un estudio de 8760 horas con sus respectivas precios, radiación, consumos, producción….

2. El autoconsumo

Según el RD 244/2019, de 5 de abril, se define la palabra autoconsumo como "consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación próximas a las de consumo y asociadas a las mismas."

Así mismo se definen únicamente dos modalidades:

- Autoconsumo sin excedentes: los dispositivos físicos instalados impedirán la inyección alguna de la energía excedentaria a la red de transporte o distribución.

- Autoconsumo con excedentes: las instalaciones de generación pueden, además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar la energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. Existen dos modalidades:

  - Con compensación: <100kW. Aquellos casos de suministro en los que el consumidor y el productor opten por acogerse a un mecanismo de compensación de excedentes.

  - Sin compensación: Todos aquellos que no cumplan los requisitos para pertenecer a la modalidad con compensación o que voluntariamente opten a no acogerse.

Por lo tanto, en función de si se cumplen o no unos requisitos o si se desea una modalidad u otra se debe elegir a cual se pertenecerá.

Las principales ventajas de tener una instalación fotovoltaica de autoconsumo residen en el ahorro en la factura de la luz a medio-largo plazo obteniendo una mejor eficiencia energética y un mayor aprovechamiento de los recursos incrementando la sostenibilidad.

Por otro lado, la inversión inicial para la instalación fotovoltaica es considerable, lo que representa uno de los mayores desafíos. Este costo se debe a la necesidad de realizar estudios detallados de radiación y generación, estructurales y elegir materiales de calidad. El precio de estos elementos varía según tamaño y complejidad de la instalación. Sin embargo, basándonos en el análisis de mercado y los costos promedio de los componentes, podemos estimar que el precio aproximado será de 750 €/kWp instalado, para esta aproximación nos hemos basado en los siguientes datos:

- Paneles

  En la siguiente imagen[1] (*Ilustración* 1) podemos apreciar el coste por W en función de las eficiencias de los paneles y cuál es la tendencia de esos precios durante el año 2024.

Module class	€/Wp	Trend since May 2024	Trend since January 2024	Description
Crystalline modules				
High Efficiency	0.19	0.0 % ➡	- 17.4 % ↘	Crystalline modules with mono- or bifacial HJT, N-type/ TOPCon or IBC (Back Contact) cells and combinations thereof, which have efficiencies higher than 22 percent.
Mainstream	0.12	- 7.7 % ↘	- 14.3 % ↘	Standard modules, typically with monocrystalline cells (also TOPCon), which are mainly used in commercial PV systems and which have an efficiency of up to 22 percent.
Low Cost	0.08	0.0 % ➡	- 11.1 % ↘	Factory seconds, insolvency goods, used or low-output modules (crystalline), products with limited or no warranty, wich usually also have no bankability.

Ilustración 1:Precio promedio paneles *Fuente: www.pvxchange.com*

Para nuestro casos se tratará de paneles de gama media por que el precio será de ***120 €/ kWp.***

- Inversor

  Comparando diferentes marcas con diferentes proveedores y para inversores trifásicos de alta potencia se aprecia un precio medio de **100 €/kWp.**

- Estructura

  Observando diferentes presupuestos de varias instalaciones de diversos tamaños y hablando con instaladores de diferentes compañías, el precio promedio para la estructura se aproxima a **100 €/kWp.**

- Mano de obra y puesta en marcha

  En este apartado se incluyen el cableado y protecciones eléctricas, así como los armarios de concentración. Al igual que en el caso anterior la información se obtuvo viendo y hablando sobre diferentes instalaciones y su precio ronda los **400€/kWp**.

Esta estimación se justifica por la combinación de factores como el costo de los paneles solares e inversor, que son los componentes más caros, así como los asociados con la instalación, incluyendo el montaje, conexiones eléctricas y las baterías si se incluyen en el diseño. Además, se deben considerar costos indirectos como permisos, inspecciones y mantenimiento inicial. A pesar de estos gastos, la inversión en energía solar ofrece una solución a largo plazo para reducir los costos energéticos y promover la sostenibilidad ambiental.

3. Ubicación

La explotación se encuentra en el término municipal de Belorado, Burgos (*Ilustración 2*), en la carretera de Fresno de Rio Tirón. Se encuentra en el margen derecho de la carretera a una distancia de 3,7 km de Belorado (*Ilustración 3*). En la *Ilustración 4* podemos apreciar una vista aérea tanto de la explotación completa como de la nave en la que se situarán las placas; finalmente en la *Ilustración 5* observamos la nave vista desde la carretera de acceso.

Ilustración 2: Ubicación *Fuente: GoogleMaps*

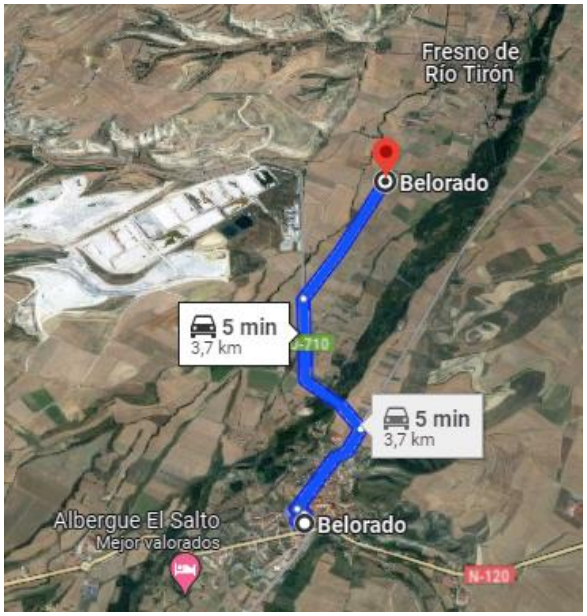

Ilustración 3: Trayecto desde Belorado *Fuente: GoogleMaps*

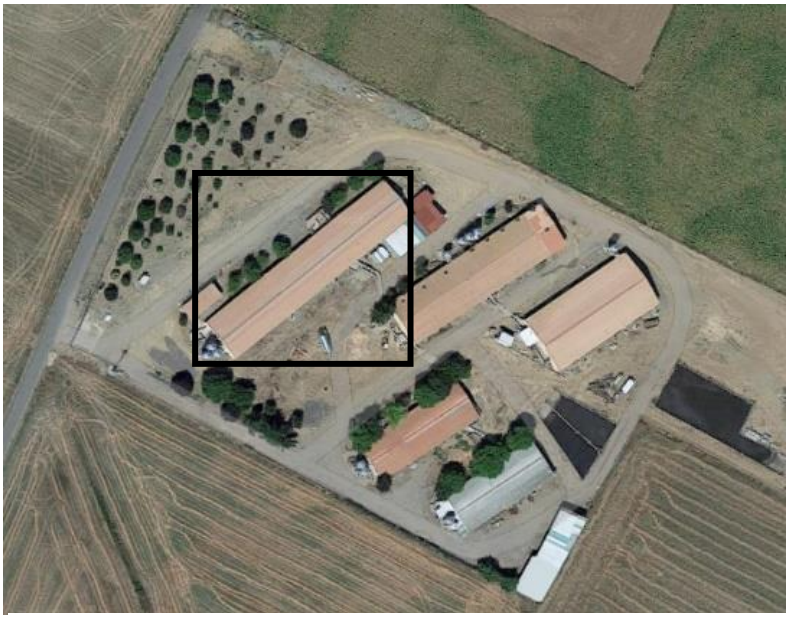

Ilustración 4: Vista superior de la explotación *Fuente: GoogleMaps*

Ilustración 5: Vista desde la carretera *Fuente: GoogleMaps*

4. Datos

Una vez conocida la ubicación y el lugar donde irán las placas que será el tejado orientado hacia el sureste de la nave más larga (*Ilustración 6*), sabemos que tendrán una inclinación de 30º, que es la propia del tejado para reducir costes en estructuras, y un azimut de 127º -Tomaremos como azimut 0 al Norte, debido a que ésta es la definición empleada por el NREL (National Renewable Energy Laboratory) en sus calculadoras de posición solar-. Con estos datos podremos saber la zona solar a la que pertenece y el nivel de

Ilustración 6: Zona elegida para instalación *Fuente: GoogleMaps*

radiación que recibirían las placas.

4.1. Radiación.

Para poder llevar a cabo un predimensionamiento correcto necesitaremos conocer la radiación solar en nuestra localización (*Ilustración 7*) en el caso de España está divida en 5 zonas solares, las cuales se determinan por las HSP (1 hora de sol pico (HSP) se refiere a la energía recibida por una radiación de 1.000 W/m^2 durante 1 hora. Este parámetro nos permite calcular de forma sencilla la energía recibida en un período de tiempo) que se reciben a lo largo del año (*Ilustración 8*).

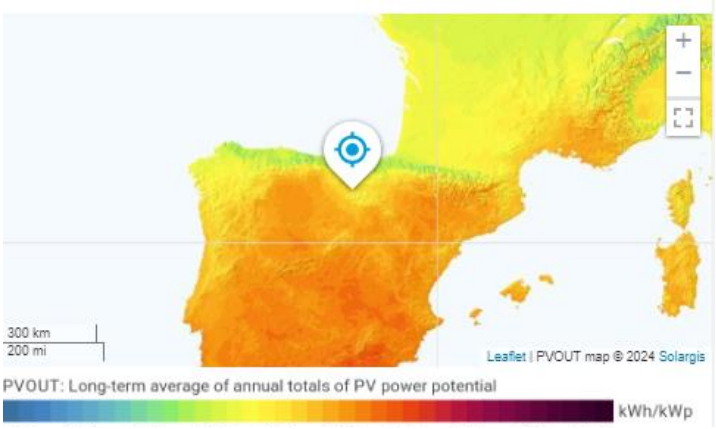

Ilustración 7: Mapa de radiación solar en España *Fuente: Global Solar Atlas*

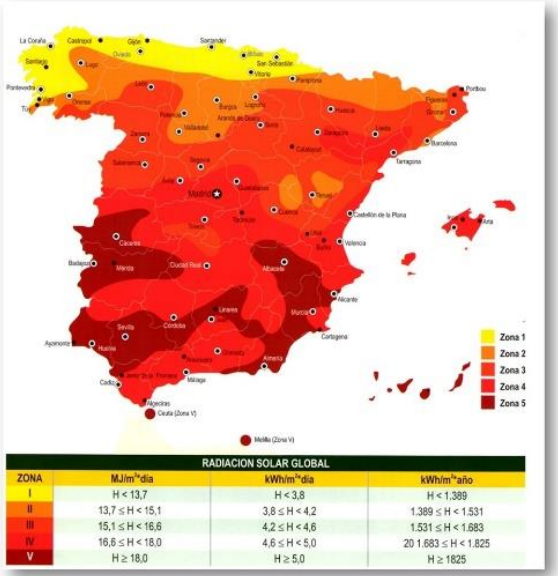

Ilustración 8: Zonas Solares España Fuente: https://plasol.com/radiacion-solar-en-espana/

Una vez conocida la zona solar a la que pertenecemos debemos saber el recorrido solar y tener en cuenta las sombras en nuestro entorno (*Ilustración 9*) y así tener acceso a las radiaciones por hora promedio en cada mes (*Ilustración 10*). En este caso hemos sacado la información de GSA[2] (Global Solar Atlas) una web que aportando las coordenadas nos devuelve mucha información relevante para los estudios fotovoltaicos.

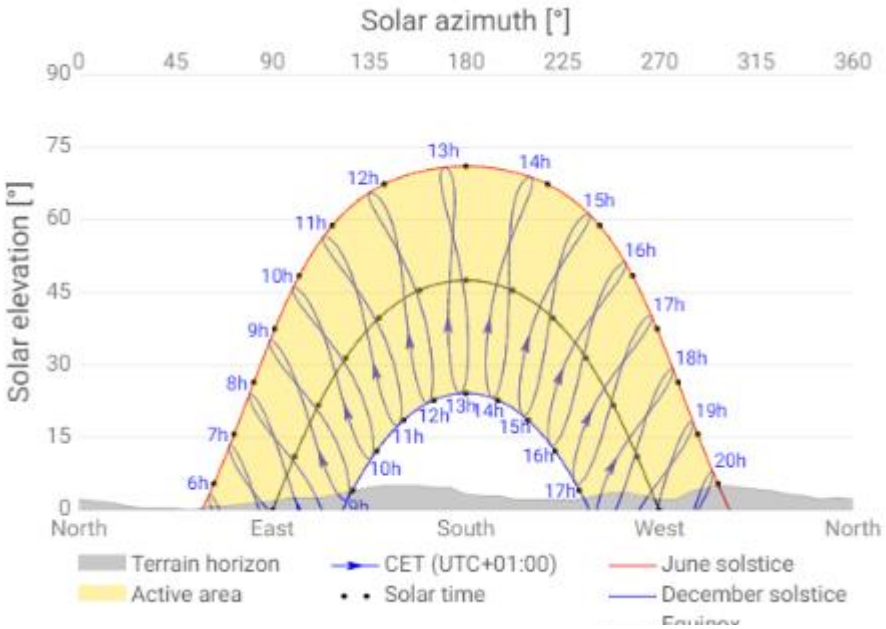

Ilustración 9: Gráfica de recorrido solar y sombras *Fuente: Global Solar Atlas*

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				3	49	74	52	4				
6 - 7			5	106	216	225	216	151	53	5		
7 - 8	0	16	151	299	346	354	355	333	278	129	21	0
8 - 9	83	180	361	415	451	468	477	452	422	344	163	80
9 - 10	234	338	441	481	525	549	574	545	502	412	288	217
10 - 11	329	396	498	529	557	587	628	612	549	465	338	313
11 - 12	354	430	534	546	568	595	645	630	563	487	350	326
12 - 13	332	416	517	503	524	555	605	595	513	421	309	292
13 - 14	261	337	424	424	440	484	520	507	423	325	232	220
14 - 15	168	236	308	321	345	383	412	388	301	209	136	129
15 - 16	71	127	179	203	225	253	274	242	167	91	48	43
16 - 17	12	40	68	90	108	127	131	102	63	29	4	3
17 - 18		3	22	46	59	65	60	50	21	1		
18 - 19				6	25	35	33	15	0			
19 - 20					1	4	3					
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	1,843	2,520	3,506	3,972	4,438	4,759	4,983	4,627	3,854	2,918	1,890	1,624

Ilustración 10: Mapa radiación promedia por hora cada mes del año [W/m²]
Fuente: Global Solar Atlas

4.2. Consumo.

Como tenemos los datos de radiación promedia por hora al mes a partir de los datos proporcionados por la distribuidora crearemos una tabla con los consumos promedio por hora al mes (*Tabla 1*).

Tabla 1: Consumo promedio por hora cada mes del año *Fuente: Propia*

Columna1	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Horas	Consumo Kwh											
0	9,42	7,14	7,19	8,27	6,31	6,96	6,97	7,24	7,46	7,77	7,31	7,90
1	9,66	7,54	7,33	8,40	6,35	7,04	6,68	7,14	7,27	7,36	7,78	8,07
2	9,53	7,26	7,50	8,54	6,55	6,98	6,69	7,18	7,34	7,42	7,73	8,20
3	9,80	7,38	7,26	8,60	6,46	7,06	6,76	7,18	7,60	7,42	7,31	8,42
4	9,87	7,74	7,37	8,54	6,50	7,23	6,52	7,18	7,23	7,51	7,53	8,14
5	9,76	7,46	7,54	8,71	6,63	7,12	6,74	6,83	7,26	7,51	7,70	8,41
6	9,73	7,54	7,64	8,78	6,40	7,59	6,95	6,80	7,54	7,68	7,12	8,12
7	9,83	7,62	8,10	8,63	6,99	7,04	7,03	6,90	7,17	7,57	7,58	7,89
8	10,45	8,59	8,80	9,24	7,27	7,33	7,37	6,90	7,67	7,63	7,36	8,61
9	10,24	9,53	8,93	9,73	7,47	7,40	7,51	7,21	7,52	7,15	7,58	8,76
10	10,05	9,35	9,03	9,52	7,49	7,57	7,59	7,39	7,19	7,39	7,23	7,26
11	10,41	9,38	9,10	9,57	7,61	7,32	7,62	7,60	7,37	7,45	7,65	7,52
12	10,61	9,55	8,76	9,57	7,47	7,40	7,31	7,59	7,44	7,53	7,78	7,41
13	10,60	9,77	9,01	9,54	7,70	7,18	7,58	7,40	7,47	7,56	7,43	7,12
14	10,43	9,58	9,07	9,37	7,40	7,44	7,59	7,40	7,61	7,27	7,59	7,10
15	10,45	9,89	9,09	9,32	7,53	7,50	7,20	7,61	7,41	7,29	7,65	7,14
16	10,21	9,71	8,83	9,70	7,44	7,47	7,26	7,48	7,52	7,57	7,29	7,80
17	10,93	9,49	9,11	9,20	7,41	7,13	7,61	7,39	7,56	7,55	7,53	9,39
18	11,60	8,75	8,99	9,36	7,50	7,72	7,52	7,52	7,60	7,54	7,77	9,75
19	9,70	6,93	8,03	9,12	7,78	7,35	7,19	6,93	7,56	7,68	7,50	8,19
20	9,08	6,93	7,04	8,61	6,56	7,16	7,21	6,39	7,44	7,39	7,37	7,32
21	9,46	6,72	7,21	8,24	7,05	7,41	6,91	7,22	7,55	7,48	7,38	7,39
22	9,33	6,90	7,27	7,90	6,55	7,12	6,71	7,43	7,37	7,60	7,61	8,05
23	9,43	7,02	7,13	7,81	6,42	6,95	6,81	7,19	7,30	7,32	7,44	8,11

A raíz de estas medias y conociendo los días que tiene el mes podremos calcular el consumo total anual que se aproxima a 70 MWh, además de conocer cómo se distribuye el consumo a lo largo del día en los diferentes meses, lo cual lo emplearemos más adelante.

5. Sistema de gestión

Para buscar una máxima rentabilidad gestionaremos la energía para hacer un uso más intensivo de la batería, esta gestión la realizaremos aplicando un algoritmo que tiene en cuenta el precio de la luz a lo largo de un día, la estimación de consumo y la estimación de producción; y comprobaremos si con esta gestión de energía la instalación es más rentable a nivel energético y económico que en el caso de no emplear gestión.

Para nuestro análisis evaluamos en primer lugar las necesidades de la explotación, luego los precios tanto de compra como de venta y por último el estado de la batería. Para poder optimizar el rendimiento es crucial tener conocimiento tanto del tipo de batería como de su capacidad. Por ejemplo, la baterías de Litio tienen un rango de descarga seguro del 20%, llegando a mínimos de 10%, mientras que en el caso del Plomo se trata de 30-35%.

Teniendo en cuenta la generación de la planta y el consumo de la explotación la batería óptima será de 40 kWh útiles, a esta capacidad debemos descontar el 20% de seguridad, quedando un total de 32 kW útiles, por lo que evaluaremos generación y necesidades en un periodo de 3 horas ya que el consumo promedio por hora es de 10 kW. Para llegar a esta capacidad de 40 kWh por una parte hemos tenido en cuenta varios factores que explicaremos en el apartado 7.5.3.

Se adjunta un ejemplo de un día cualquiera, que se corresponde con un viernes del mes de abril:

Para este caso (*Tabla 2*) [6] podemos apreciar que en el caso de la columna de las horas tenemos coloreadas las horas con tres colores diferentes, que indican los diferentes periodos de facturación (los cuales dependen tanto de la hora del día como del día del año y se dividen en: P1 rojo, P2 amarillo, P3 marrón, P4 azul, P5 rosa, P6 gris); en las necesidades el color verde indica que es energía sobrante, la cual verteremos a la red o a la batería; y por último en el precio de compra el color rojo indica los precios más altos de todo el día.

Para nuestro caso tenemos una tarifa 6.0, para una potencia de 27 kW, con la comercializadora SomEnergia que nos ofrece los siguientes precios tanto para potencia consumida como para excedentes, precios con 21% de IVA, columnas 7 y 8:

P1: 0,221052 €/kWh P2: 0,188397 €/kWh

P3: 0,168301 €/kWh P4: 0,15323 €/kWh

P5: 0,131878 €/kWh P6: 0,135646 €/kWh

Compensación: 0,07536 €/kWh

Tabla 2: Datos viernes cualquiera de abril *Fuente: Propia*

ABRIL	Hora	Consumo (kWh)	Radiación (W/m²)	Producción (kWh)	Necesidad (kWh)	Venta (€)	Compra (€)
viernes	00:00	9,684	0	0	9,68400	0,07536	0,13565
viernes	01:00	9,738	0	0	9,73800	0,07536	0,13565
viernes	02:00	10,87	0	0	10,87000	0,07536	0,13565
viernes	03:00	9,81	0	0	9,81000	0,07536	0,13565
viernes	04:00	9,819	0	0	9,81900	0,07536	0,13565
viernes	05:00	10,9	0	0	10,90000	0,07536	0,13565
viernes	06:00	9,783	0	0	9,78300	0,07536	0,13565
viernes	07:00	11,902	121	5,50371	6,39829	0,07536	0,13565
viernes	08:00	11,627	259	11,78067	-0,15367	0,07536	0,16830
viernes	09:00	9,63	258	11,73518	-2,10518	0,07536	0,16830
viernes	10:00	10,49	267	12,14455	-1,65455	0,07536	0,13188
viernes	11:00	10,46	282	12,82682	-2,36682	0,07536	0,13188
viernes	12:00	9,28	332	15,10108	-5,82108	0,07536	0,13188
viernes	13:00	8,79	207	9,41544	-0,62544	0,07536	0,13188
viernes	14:00	9,82	199	9,05155	0,76845	0,07536	0,13188
viernes	15:00	8,23	174	7,91442	0,31558	0,07536	0,16830
viernes	16:00	8,29	54	2,45620	5,83380	0,07536	0,16830
viernes	17:00	8,86	36	1,63747	7,22253	0,07536	0,16830
viernes	18:00	8,45	6	0,27291	8,17709	0,07536	0,13188
viernes	19:00	8,592	0	0	8,59200	0,07536	0,13188
viernes	20:00	9,648	0	0	9,64800	0,07536	0,13188
viernes	21:00	9,594	0	0	9,59400	0,07536	0,13188
viernes	22:00	9,45	0	0	9,45000	0,07536	0,16830
viernes	23:00	9,45	0	0	9,45000	0,07536	0,16830

A partir de los datos obtenidos (*Tabla 2*) aplicamos el algoritmo que explicaremos más adelante y podemos observar que debemos hacer a cada hora (*Tabla 3*):

En primer lugar, si tenemos excedente de energía nuestra prioridad es la carga de la batería, en caso de que se encuentre en su máxima capacidad estos excedentes los verteremos a la red .

Por el contrario, si tenemos necesidades energéticas tendremos dos opciones:

- Si la segunda columna nos indica “comprar” haremos uso de la energía de la red sin tocar la batería.
- Si la segunda columna esta en blanco emplearemos la energía de la batería en toda su capacidad y en caso de ser necesario se comprará la energía necesaria.

En la tercera columna podemos apreciar el estado de la batería, el cual se rige por una escala de colores degradados, partiendo del rojo cuando se encuentra en mínimos, llegando al amarillo cuando se encuentra al 50% y de color verde si la batería se encuentra al 100%. Además de una barra azul que incrementa al igual que el estado de la batería.

Como es evidente cuando si la batería se encuentra en mínimos no podremos hacer uso de esa energía y deberemos comprar energía de la red.

En la columna de "energía comprada" se indica la cantidad de energía que debemos comprar de la red, tanto para cubrir nuestras necesidades, como en determinados casos, cargar la batería. La energía máxima que se puede comprar es 27kW, ya que es la energía contratada.

Las dos últimas columnas corresponden con el movimiento económico generado tanto por la compra de energía como por el vertido, siendo las celdas coloreadas de azul el ingreso económico que obtendríamos por el vertido de energía excedente.

Tabla 3: Operaciones y estados *Fuente: Propia*

		Estado batería (kW)	Energía comprada (kWh)		
Hora		40		Sin Gestión (€)	Con Gestión (€)
00:00		30,316	0	1,314	0
01:00		20,578	0	1,321	0
02:00		9,708	0	1,474	0
03:00		8,000	9,810	1,331	1,331
04:00		8,000	9,819	1,332	1,332
05:00	comprar	8,000	10,900	1,479	1,479
06:00	comprar	8,000	9,783	1,327	1,327
07:00	comprar	8,000	6,398	0,868	0,868
08:00	Ven o Bat	8,154	0	-0,012	0
09:00	Ven o Bat	10,259	0	-0,159	0
10:00	Ven o Bat	11,913	0	-0,125	0
11:00	Ven o Bat	14,280	0	-0,178	0
12:00	Ven o Bat	20,101	0	-0,439	0
13:00	Ven o Bat	20,727	0	-0,047	0
14:00	comprar	40,000	20,042	0,101	2,643
15:00		39,684	0	0,053	0
16:00		33,851	0	0,982	0
17:00		26,628	0	1,216	0
18:00		18,451	0	1,078	0
19:00	comprar	36,859	27,000	1,133	3,561
20:00	comprar	40,000	12,789	1,272	1,687
21:00	comprar	40,000	9,594	1,265	1,265
22:00		30,550	0	1,590	0
23:00		21,100	0	1,590	0

Como podemos observar en la *Tabla 3* los momentos de compra de energía coincide con los precios de compra más bajos a lo largo del día. Y las horas de vertido a la batería o la red coinciden con las horas en las que hay excedente de energía.

A las 5:00 h observamos que tenemos la opción de comprar energía para llenar la batería, pero como evaluamos en tramos de 3 horas y en una de ellas tenemos excedentes, entonces solo compraremos la energía necesaria para cubrir el consumo.

Desde las 8:00 h hasta las 13:00 h tenemos excedentes y la batería se encuentra sin estar al 100%, por lo que esos excedentes se emplearán para cargar la batería.

Tanto a las 14:00 h como de 19:00 h hasta 21:00 h son horas en las que podemos comprar energía y como en nuestro tramo de evaluación no sobran excedentes aprovecharemos esas horas tanto para comprar la energía que consumiremos como para cargar la batería hasta el máximo permitido por la potencia contratada.

En los tramos de 00:00 h–4:00 h, 15:00 h–18:00 h y 22:00 h–23:00 h son tramos con precios mas elevados, por lo que siempre que sea posible emplearemos la energía disponible en la batería hasta agotarse y posteriormente deberemos hacer uso de la energía de la red.

En las dos últimas columnas podemos apreciar el coste/ingreso en cada hora y de esta forma comparar las diferencias de emplear la gestión o no emplearla; y si realizamos la suma total de cada columna nos quedará un coste de 19,87 € para el caso de no emplear gestión de energía y de 15,49 € para el caso de gestionar la energía.

Para el caso en que no empleemos la gestión las baterías se cargarán solamente con los excedentes y cuando sea necesario importar energía haremos uso de las baterías hasta llegar al nivel mínimo.

6. Componentes

6.1. Placas

Usaremos el panel fotovoltaico EM550-PH de la casa Tensite, se trata de un panel que genera 550 Wp con un voltaje máximo de 41,95V y una intensidad de 13,12 A

Hemos elegido este panel debido a su alta eficiencia, 21,3%, lo cual es una eficiencia por encima de la media; además, nos dan una garantía de 12 años para un funcionamiento superior al 90% y hasta 25 años con un rendimiento aproximado del 84%. Estos datos figuran[3] en las *Ilustraciones 11 y 12*, así como su precio y dimensiones en las *Ilustraciones 13 y 14*, respectivamente

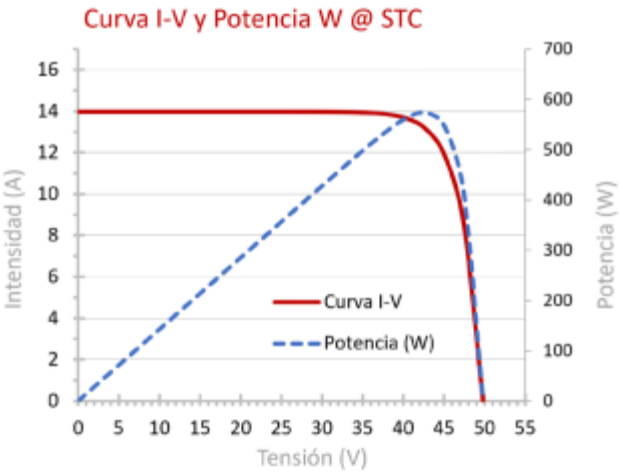

Ilustración 11: Curva I-W y potencia del panel EM550-PH
Fuente: www.autosolar.es

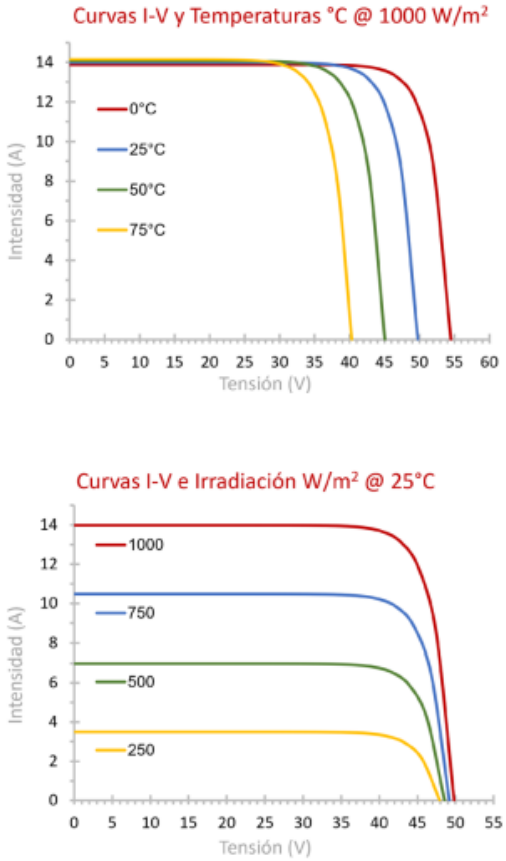

Ilustración 12: Curvas I_V, Temperatura e Irradiación del panel EM550-PH *Fuente: www.autosolar.es*

Ilustración 14: Precio del panel EM550-PH *Fuente: www.autosolar.es*

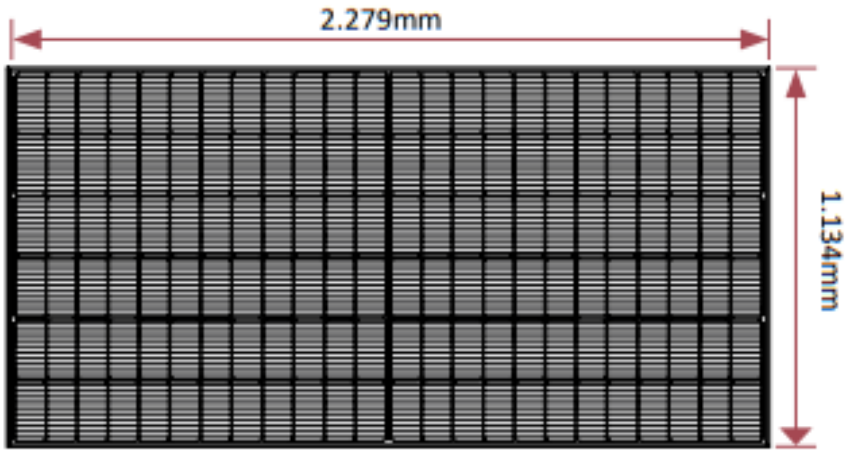

Ilustración 13: Dimensiones del panel EM550-PH *Fuente: www.autosolar.es*

6.2. Inversor

Para el inversor nos hemos decantado por un inversor trifásico de Kostal el modelo Piko CI 50 de 50 kW, el cual nos permite tener string de hasta 1.100V y para nuestro caso 39 A (*Ilustración 15*). Hemos elegido este por darnos la capacidad de ampliar la instalación todo lo que se desee, ya que tiene 10 entradas MPPT y permite el funcionamiento en isla, es decir, desconectado de la red haciendo uso solo de las baterías; para la conexión de la batería no es necesario emplear ningún otro elemento, ya que el propio inversor trae integrado un regulador de tensión y un controlador de carga. Otra de las cualidades que tiene es su bajo voltaje de inicio, 250V, esto nos permite aprovechar antes la energía solar. En la siguientes imágenes[4] veremos el precio del inversor (*Ilustración 15*), la tabla de características (*Ilustración 16*) y las curas de rendimiento (*Ilustración 17*).

Ilustración 15: Precio del inversor
Fuente:www.fusionenergiasolar.es

	Clase de potencia		50
Lado de entrada (CC)	Potencia fotovoltaica máx. (cos φ = 1)	kWp	75
	Potencia CC nominal	kW	50
	Tensión de entrada nominal ($U_{CC,r}$)	V	620
	Tensión de entrada de inicio ($U_{CCinicio}$)	V	250
	Rango de tensión de entrada ($U_{CCmín}$ - $U_{CCmáx}$)	V	200...1100
	Rango PMP con potencia nominal ($U_{PMPmín}$ - $U_{PMPmáx}$)	V	540...800
	Rango de tensión de trabajo PMP ($U_{PMPtrabmín}$ - $U_{PMPtrabmáx}$)	V	200...960
	Tensión de trabajo máx. ($U_{CCtrabmáx}$)	V	960
	Corriente de entrada máx. ($I_{CCmáx}$) por MPPT 3)	A	DC 2-4: 39 DC 6-8: 39 DC 10-11: 26 DC 13-14: 26
	Corriente de cortocircuito de CC máx. (I_{SC_PV})	A	150 (45/45/30/30)
	Corriente CC máx. por conector CC 3)	A	18
	Número de entradas CC		10
	Número de seguidores PMP indep.		4

Ilustración 16: Características del inversor
Fuente:www.fusionenergiasolar.es

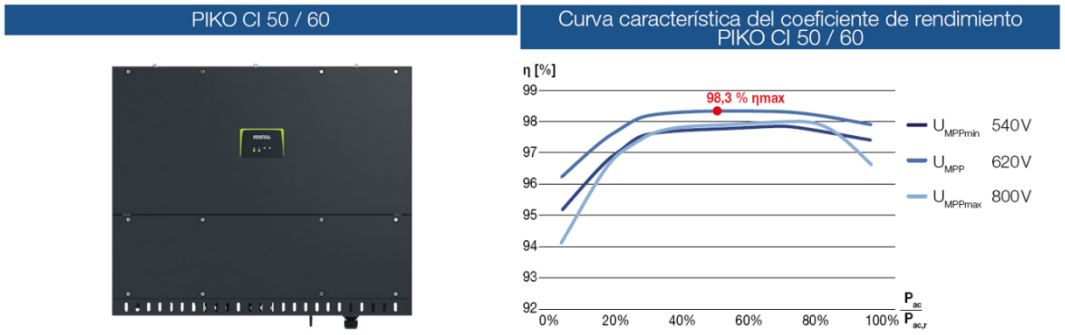

Ilustración 17: Curvas de rendimiento
Fuente:www.fusionenergiasolar.es

6.3. Batería

Atendiendo a las diferentes posibilidades de baterías que nos ofrece el mercado nos decantaremos por baterías modulares, por su capacidad de ampliarse todo lo deseable y su facilidad de instalación.

En lo referente a la capacidad necesaria debemos tener en cuenta el consumo por hora de la explotación, que como ya hemos mencionado anteriormente se trata de 10 kW, y debido a que nuestro método de gestión evalúa los tramos horarios de 3 en 3, debemos tener una capacidad útil de 32 kWh; debido al tipo de baterías empleadas su capacidad de carga útil supone el 80% de su capacidad total, por lo que deberá ser de 40 kWh.

En cuanto a las baterías se han elegido de Litio ya que son las que logran una mayor eficiencia y vida, a pesar de ser un poco más caras. En concreto se han elegido los módulos de Pylontech por ser los que mejor precio ofrecen y no tenemos que trabajar con altas tensiones, ya que funcionan a 48V, además uniendo el máximo número de módulos de estas baterías podríamos llegar a los 88 kWh útiles, por lo que no supondrá un problema en nuestro caso.

Comparando el precio por kWh que ofrecen los diferentes módulos, el más económico resulta el de 21,6 kWh que serían 19,44 kWh útiles, de esta forma comprando dos módulos y conectándolos en paralelo obtendremos la capacidad deseada de aproximadamente 40 kWh.

También destacar que al tratarse de baterías de Litio tienen una mayor cantidad de ciclos, en este caso superior a 6.000, que otro tipo de baterías como las de gel que solo son 3.000 ciclos. En la *Ilustración 18* [5] podemos apreciar la apariencia y el precio de nuestra batería.

Ilustración 18: Precio del paquete de baterías
Fuente: www.wccsolar.net

7. Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Para poder saber cuál será el tamaño necesario para nuestra instalación emplearemos diferentes métodos de diseño sabiendo que las placas que emplearemos serán de 550 W, el consumo anual de energía se aproxima a los 70 MWh y la irradiación anual es de 1.540,93 kWh/m^2.

7.1. Aproximación por consumos

Partiendo del conocimiento del consumo anual de la explotación y sabiendo cual es la radiación anual con la orientación e inclinación de nuestra planta podemos calculas cuantos kWp debemos instalar.

Consumo anual / Radiación anual = kWp necesarios

- 70.000 / 1.540,93 = 45,427 kWp

Una vez calculado la potencia necesaria y teniendo los paneles elegidos, de los cuales sabemos cual es su potencia, podremos calcular el número de paneles necesarios.

kWp / kW panel = Nº paneles

- 45,427 / 0,550 = 82,59 → 83 paneles

Como no podemos instalar fracciones de panel debemos redondear hacia arriba, por lo que ya sabemos cuantos paneles vamos a instalar y su potencia y de esta forma sabremos la cantidad exacta de potencia que instalaremos.

Nº paneles * kW panel = kWp instalados

- 83 * 0,550 = 45,650 kWp instalados

Finalmente, conocido la potencia instalada y la radiaccion anual, obtendremos cuanta energía generaremos a lo largo de un año, lo cual comprobaremos con la energía demandada.

kWp * Radiación anual = kWh generados

- 45,650 * 1.540,93 = 70.343,45 kWh generados

Observamos que deberíamos instalar 45,65 kWp para cubrir el consumo de energía.

7.2. Aproximación por Excel

Partiendo de los consumos de otros años y los registros de radiación hacemos la media por horas para cada mes, de esta forma obtenemos una aproximación tanto de consumo como de irradiación para cada hora y mes del año (*Tabla 4*).

Tabla 4:: Ejemplo consumo [kWh] e irradiación[kWh/m²] medios de enero y febrero *Fuente: Propia*

ENERO	Consumo kWh	Irradiacion kW/m^2	FEBRERO	Consumo kWh.	Irradiacion kW/m^2.
Horas					
0	9,42	0,00		7,14	0,00
1	9,66	0,00		7,54	0,00
2	9,53	0,00		7,26	0,00
3	9,80	0,00		7,38	0,00
4	9,87	0,00		7,74	0,00
5	9,76	0,00		7,46	0,00
6	9,73	0,00		7,54	0,00
7	9,83	0,00		7,62	0,00
8	10,45	0,35		8,59	0,39
9	10,24	0,73		9,53	0,58
10	10,05	0,87		9,35	0,68
11	10,41	0,85		9,38	0,66
12	10,61	0,74		9,55	0,61
13	10,60	0,56		9,77	0,53
14	10,43	0,35		9,58	0,35
15	10,45	0,12		9,89	0,18
16	10,21	0,02		9,71	0,06
17	10,93	0,00		9,49	0,02
18	11,60	0,00		8,75	0,00
19	9,70	0,00		6,93	0,00
20	9,08	0,00		6,93	0,00
21	9,46	0,00		6,72	0,00
22	9,33	0,00		6,90	0,00
23	9,43	0,00		7,02	0,00

Suponiendo diferentes potencias fotovoltaicas instaladas, para los datos obtenidos en el párrafo anterior, obtenemos diferentes resultados (*Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7*) en las dos primeras apreciamos ejemplos para las potencias de 25 kW y de 40 kW en las cuales podemos observar la energía que se consumiría sin ningún tipo de instalación y la que se consume con la instalación fotovoltaica, además del coste económico de la energía y los respectivos ahorros.

Tabla 5: Resultados ahorro energético y económico para 25 kW solo con placas *Fuente: Propia*

Potencia instalada	25 kW					
Meses	Sin instalción kWh	Solo placas kWh	% Ahorro	Sin instalción €	Solo placas €	% Ahorro,
Enero	7457,78	5340,47	28%	1.255,06 €	911,22 €	27%
Febrero	5511,178	2688,66	51%	945,87 €	539,01 €	43%
Marzo	6054,625	3149,34	48%	958,18 €	562,71 €	41%
Abril	6427,8	3966,88	38%	908,94 €	596,44 €	34%
Mayo	5233,905	1234,68	76%	740,44 €	301,55 €	59%
Junio	5234,149	1631,13	69%	777,66 €	344,49 €	56%
Julio	5311,153	1057,73	80%	895,54 €	347,62 €	61%
Agosto	5366,449	1289,40	76%	797,38 €	326,40 €	59%
Septiembre	5353,61	2006,68	63%	794,71 €	398,62 €	50%
Octubre	5569,91	3042,44	45%	786,26 €	491,95 €	37%
Noviembre	5406	3235,01	40%	849,56 €	557,04 €	34%
Diciembre	5991,068	4493,59	25%	1.014,88 €	775,21 €	24%
	68917,63	**33135,99**	**52%**	**10.724,47 €**	**6.152,26 €**	**43%**

Tabla 6: Resultados ahorro energético y económico para 40 kW solo con placas *Fuente: Propia*

Potencia instalada	40 kW					
Meses	Sin instalción kWh	Solo placas kWh	% Ahorro	Sin instalción €	Solo placas €	% Ahorro,
Enero	7457,78	4097,70	45%	1.255,06 €	780,04 €	38%
Febrero	5511,178	1031,97	81%	945,87 €	388,95 €	59%
Marzo	6054,625	1444,69	76%	958,18 €	402,56 €	58%
Abril	6427,8	2522,42	61%	908,94 €	452,02 €	50%
Mayo	5233,905	-1112,70	121%	740,44 €	104,79 €	86%
Junio	5234,149	-483,69	109%	777,66 €	160,94 €	79%
Julio	5311,153	-1438,84	127%	895,54 €	134,67 €	85%
Agosto	5366,449	-1103,65	121%	797,38 €	125,63 €	84%
Septiembre	5353,61	42,18	99%	794,71 €	231,55 €	71%
Octubre	5569,91	1558,92	72%	786,26 €	361,97 €	54%
Noviembre	5406	1960,73	64%	849,56 €	444,72 €	48%
Diciembre	5991,068	3614,63	40%	1.014,88 €	682,53 €	33%
	68917,63	**12134,36**	**82%**	**10.724,47 €**	**4.270,38 €**	**60%**

Tabla 7: Comparación diferentes potencias *Fuente: Propia*

Potencia instalada (kWp)	Ahorro (kW)	Ahorro (€)
20	42%	36%
25	52%	43%
30	62%	49%
35	72%	54%
40	82%	60%
45	93%	66%
47	97%	68%
48	99%	69%
50	103%	71%

A partir de los datos obtenidos se ha concluido que la instalación óptima será la de 47 kWp, ya que tanto a nivel energético como económico a partir de esa potencia se aprecia un aumento más lento, es decir ahorraremos de una manera menos eficiente.

7.3. PVsyst

Para este método y el siguiente, se tratan de sistemas más precisos que tienen en cuenta sombras e inclinación de manera más precisa, los cuales se trata de calculadoras online creadas para este fin específico.

En PVsyst, software de instalaciones fotovoltaicas, nos solicitará la ubicación más exacta posible, un modelo 3D simplificado de la posición de las placas, así como su orientación y sombras. De este modo aportamos todos datos necesarios para conocer la radiación que recibirán las placas a lo largo de cada día.

Dentro del software podremos elegir diferentes tipos de placas, inversores y baterías, dándonos error en caso de no ser compatibles o si existiese algún problema, como una sobrealimentación del inversor o no alcanzar el voltaje mínimo para iniciar el mismo. Por lo que aportando todos los datos necesarios obtendríamos una instalación de 47,5 kWp, en la siguiente tabla (*Tabla 8*) podemos observar los resultados que nos aporta PVsyst para la potencia y parámetros elegidos, y apreciamos que la potencia generada se aproxima a la consumida mencionada anteriormente.

Tabla 8: Resultados de PVsyst para 47.5 kWp instalados *Fuente: PVsyst*

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	49.1	24.76	3.67	66.5	64.1	3.099	5.952	1.478	1.499	4.474
February	63.8	36.49	5.08	75.5	73.1	3.511	5.376	1.638	1.748	3.738
March	114.4	53.25	8.35	129.9	126.5	5.920	5.952	2.267	3.478	3.685
April	141.7	70.32	10.26	148.9	145.3	6.729	5.760	2.471	4.062	3.289
May	171.5	86.43	14.70	174.0	169.5	7.671	5.952	2.806	4.641	3.146
June	194.2	71.92	19.57	194.5	189.7	8.365	5.760	2.793	5.338	2.967
July	216.2	67.64	21.59	218.9	213.9	9.259	5.952	2.897	6.116	3.055
August	179.1	67.20	21.19	185.4	181.0	7.919	5.952	2.733	4.968	3.219
September	135.8	56.45	17.28	150.3	146.7	6.572	5.760	2.375	4.008	3.385
October	92.1	39.99	13.11	109.9	106.5	4.921	5.952	2.009	2.757	3.943
November	54.6	25.85	7.05	71.1	68.7	3.278	5.760	1.497	1.660	4.263
December	43.9	23.31	4.16	59.6	57.4	2.778	5.952	1.472	1.193	4.480
Year	1456.4	623.62	12.21	1584.5	1542.3	70.023	70.080	26.438	41.468	43.642

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

Además, el programa nos ofrece una gráfica (*Ilustración 19*) en la cual podemos observar las probabilidades de producción, es decir, que tan probables es llegar a una energía producida determinada a lo largo de una año.

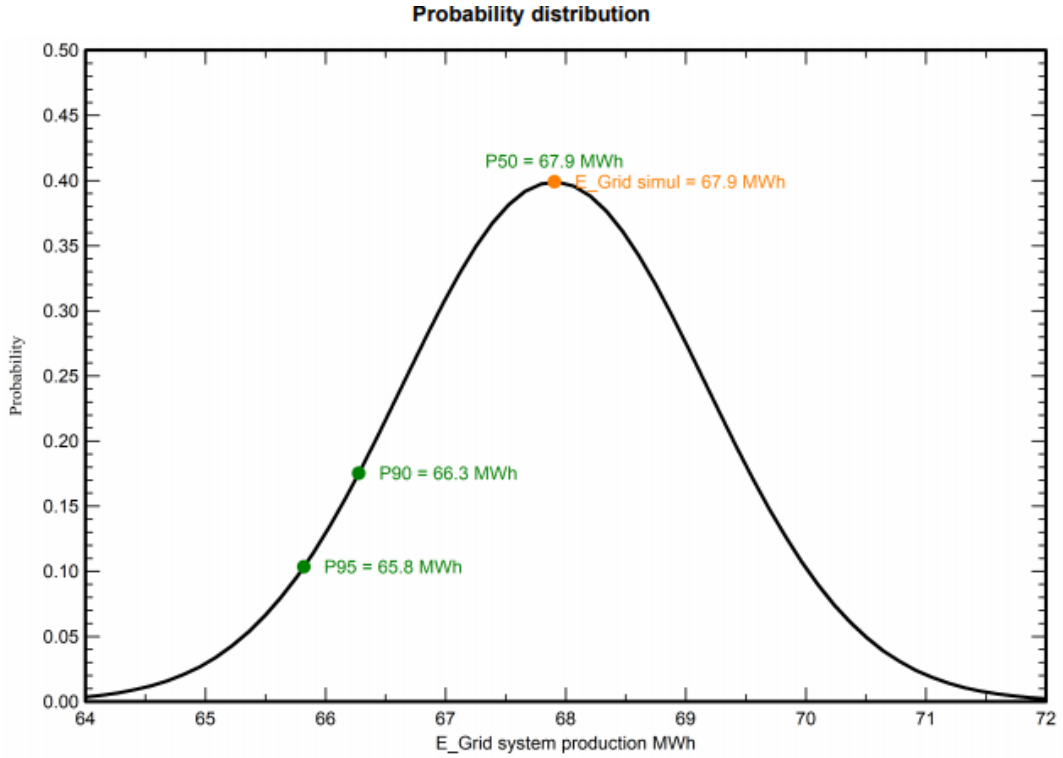

Ilustración 19: Gráfica de probabilidad de producción anual *Fuente: PVsyst*

7.4. Global Solar Atlas

Se trata de un simulador de instalaciones muy parecido a PVsyst con la diferencia de que en este caso es online, por lo que no hay que descargar nada. Nos solicitara los mismos datos que el anterior, como ubicación, orientación, sombras y potencia que deseamos instalar, y de esta forma nos devolverá la producción fotovoltaica, teniendo en cuenta las pérdidas por temperaturas y pérdidas por cableado. Mediante este método nos arroja un resultado de 55 kWp.

Para llegar a esta conclusión hemos realizado en este caso dos simulaciones obteniendo los siguientes resultados (*Ilustración 20 e Ilustración 21*) en los cuales apreciamos que generamos la energía deseada para una instalación de 55 kWp.

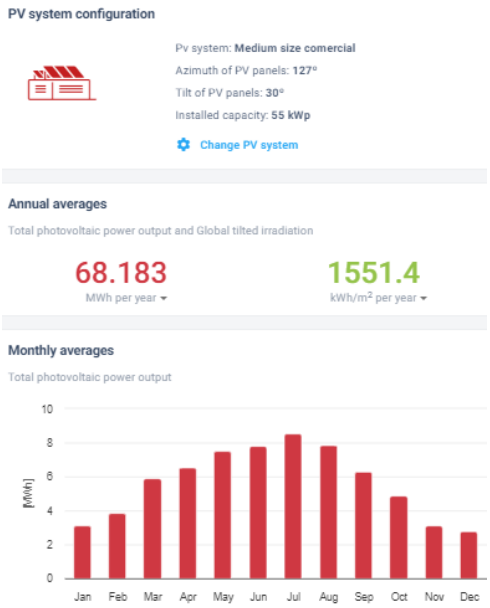

Ilustración 21: GSA para 55 kWp
Fuente: Global Solar Atlas

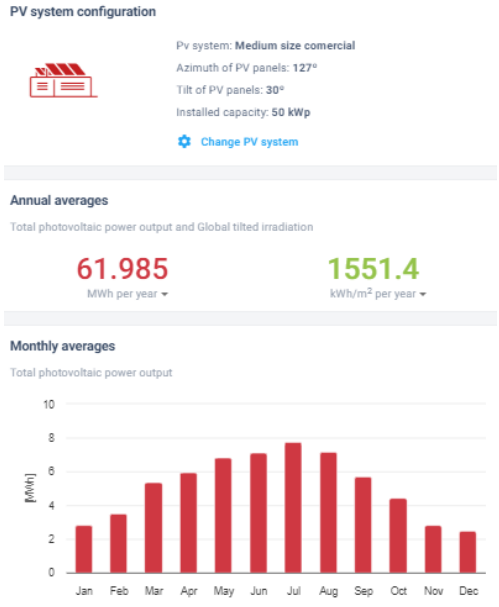

Ilustración 20: GSA para 50 kWp
Fuente: Global Solar Atlas

Los dos primeros métodos podemos considerarlos una aproximación rápida, ya que no se tienen en cuenta ningún tipo de perdidas ni configuración, para el caso de Global Solar Atlas podemos darle un poco más de validez, ya que tiene en cuenta perdidas generales además de la orientación y posición de las placas; pero el método de modelado de mayor validez es PVsyst, ya que además de tener en cuenta las perdidas generales, también considera las propias del inversor y de las placas de manera más específicas, incluyendo las perdidas por temperatura. De esta manera nuestra instalación deberá ser de 47,5 kWp.

Una vez conocida la potencia mínima que debemos instalar nos adaptamos a nuestros elementos, por lo que emplearemos 90 paneles de 550 W, definidos anteriormente, que nos aportaran 49,5 kW, ya que de esta forma podremos tener todos los string con la misma potencia y alargaremos la vida del inversor, además se corresponde con la potencia necesaria para cubrir las necesidades. Estos se conectarán en 6 strings de 15 paneles en serie, de esta forma las tensiones generadas por los string serán de entre 600 V y 825 V, tensiones las cuales están dentro del rango de trabajo del inversor, 200V-960V, estas tensiones mínimas y máximas son consideradas a T^a_{max} y a T^a_{min} para cada panel, siendo V_{min} (T^a_{max}) = 40V y V_{max} (T^a_{min}) = 55V.

8. Algoritmo de gestión

Para poder realizar una gestión adecuada necesitamos conocer principalmente las necesidades energéticas y los precios de la energía en los diferentes tramos horarios, de esta forma podremos identificar en que horas debemos comprar energía o venderla como veremos a continuación.

Debido a que nuestra batería tiene una capacidad para cubrir hasta tres horas de consumo haremos la gestión de energía estudiando las tres horas consecutivas a la de actuación.

En un primer momento debemos saber si estamos en una hora en la cual necesitamos energía o hay excedente y por lo tanto podemos verterla a batería o a la red. En el caso en que necesitemos comprar energía analizaremos si el precio de la energía en la hora de estudio es el mínimo de las tres siguientes en ese caso podremos comprar (*Tabla 9*), pero debemos tener en cuentas más factores que veremos a continuación.

Tabla 9: Ejemplo de decisión de un día cualquiera *Fuente: Propia*

	Necesidad(kWh)	Venta (€)	Compra (€)	
00:00	9,6930	0,07536	0,13565	
01:00	10,7700	0,07536	0,13565	
02:00	9,6930	0,07536	0,13565	
03:00	9,6930	0,07536	0,13565	
04:00	10,7700	0,07536	0,13565	
05:00	9,6930	0,07536	0,13565	Comprar
06:00	9,6930	0,07536	0,13565	Comprar
07:00	9,6930	0,07536	0,13565	Comprar
08:00	3,1295	0,07536	0,18840	Comprar
09:00	-6,7392	0,07536	0,18840	Excedente
10:00	-21,2871	0,07536	0,22105	Excedente
11:00	-8,0951	0,07536	0,22105	Excedente
12:00	-0,9359	0,07536	0,22105	Excedente
13:00	-10,5794	0,07536	0,22105	Excedente
14:00	-6,2396	0,07536	0,22105	Excedente
15:00	4,2036	0,07536	0,18840	Comprar
16:00	11,5351	0,07536	0,18840	Comprar
17:00	7,4760	0,07536	0,18840	Comprar
18:00	11,7370	0,07536	0,22105	
19:00	9,6030	0,07536	0,22105	
20:00	9,6030	0,07536	0,22105	
21:00	9,6030	0,07536	0,22105	
22:00	9,6120	0,07536	0,18840	
23:00	9,6120	0,07536	0,18840	

Para la decisión final (*Tabla 10*) de qué hacer con la energía debemos tener muchas cosas en cuenta, pero con preferencias unas sobre otras:

¿Cuáles son mis necesidades?

a. Necesito energía

   i. En esa hora se cumplen las condiciones que nos indican que debemos comprar debido a su bajo precio y a las previsiones futuras (Nunca podremos superar la potencia contratada, en este caso 27 kW)

      1. En las tres horas siguientes hay excedentes

         a. La batería tiene más del 35% de capacidad (de esta forma tendremos una pequeña reserva de energía para emergencias).
            Haremos uso de la batería hasta agotarla y si es necesario compraremos energía de la red.

         b. La batería tiene menos del 35% de capacidad.
            Toda la energía necesaria debe ser importada de la red

      2. En las próximas horas NO habrá excedentes
         Compraremos la energía necesaria y además compraremos energía rellenando la batería, siempre que la suma de la energía comprada para uso más la energía para la batería no supere los 27 kWh, como veremos en la *Tabla 11,* en la cual podemos a preciar como a las 5:00h y a las 15:00h tenemos necesidades energéticas, la batería no se encuentra al 100% y además se trata de una hora en la que debemos aprovechar a comprar energía.

   ii. No nos sobran excedentes ni debemos comprar
      Si tenemos energía en batería hacemos uso de ella hasta llegar al mínimo de 20%, de lo contrario usaremos la de la red.

b. Existen excedentes
   Usaremos la energía excedente para cargar la batería, cuando ésta esté cargada verteremos el resto a la red.

Este algoritmo está condicionado por el tipo de tarifa, ya que si fuese una tarifa libre deberíamos emplear un algoritmo que sea más eficiente.

Tabla 10: Estado de la batería y actuación final de energía *Fuente: Propia*

	Necesidad (kWh)		Estado bateria (kW)	Energia comprada (kWh)
			40	
00:00	9,6930		30,307	0
01:00	10,7700		19,537	0
02:00	9,6930		9,844	0
03:00	9,6930		8	9,693
04:00	10,7700		8	10,77
05:00	9,6930	Comprar	25,307	27
06:00	9,6930	Comprar	15,614	0
07:00	9,6930	Comprar	8	2,079
08:00	3,1295	Comprar	8	3,129457862
09:00	-6,7392	Excedente	14,7392255	0
10:00	-21,2871	Excedente	36,02628699	0
11:00	-8,0951	Excedente	40	-4,121375821
12:00	-0,9359	Excedente	40	-0,935854208
13:00	-10,5794	Excedente	40	-10,57938951
14:00	-6,2396	Excedente	40	-6,239562634
15:00	4,2036	Comprar	40	4,203635539
16:00	11,5351	Comprar	40	11,53510706
17:00	7,4760	Comprar	40	7,476
18:00	11,7370		28,263	0
19:00	9,6030		18,66	0
20:00	9,6030		9,057	0
21:00	9,6030		8	9,603
22:00	9,6120		8	9,612
23:00	9,6120		8	9,612

Tabla 11: Ejemplo de compra limitada por potencia contratada *Fuente: Propia*

ENERO		Necesidad (kWh)		Estado batería (kW)	Energia Comprada (kWh)
lunes	00:00	8,616		8	8,616
lunes	01:00	9,693		8	9,693
lunes	02:00	8,616		8	8,616
lunes	03:00	8,616		8	8,616
lunes	04:00	9,693		8	9,693
lunes	05:00	8,616	Comprar	26,384	27
lunes	06:00	8,616	Comprar	17,768	0
lunes	07:00	9,693	Comprar	8,075	0
lunes	08:00	9,612	Comprar	8,075	5,427362189
lunes	09:00	10,67	Excedentes	13,7796697	0
lunes	10:00	10,69	Excedentes	18,91851707	0
lunes	11:00	10,56	Excedentes	19,41141911	0
lunes	12:00	13,59		12,41677219	0
lunes	13:00	13,97		8,22608881	0
lunes	14:00	13,63		8	5,078783603
lunes	15:00	13,28	Comprar	26,90531207	27
lunes	16:00	12,76	Comprar	40	24,6720729
lunes	17:00	14,952	Comprar	40	14,952
lunes	18:00	11,737		28,263	0
lunes	19:00	8,536		19,727	0
lunes	20:00	7,469		12,258	0
lunes	21:00	9,603		8	9,603
lunes	22:00	8,544		8	8,544
lunes	23:00	8,544		8	8,544

9. Análisis energéticos

Analizaremos el impacto energético que tendrán tanto la instalación únicamente de placas como el uso de baterías gestionadas. De esta forma podremos valorar a nivel medioambiental que tanto beneficioso son ambos métodos.

9.1 Instalación sin acumulación

La implementación de las placas fotovoltaicas tiene como objetivo alcanzar un equilibrio energético final próximo a cero, lo que implica que la cantidad de energía generada sea prácticamente igual a la consumida. En situaciones en las que la producción excede al consumo, la energía sobrante se inyecta a la red y se compensa mediante un sistema de reembolso por parte de la comercializadora. Por el contrario, cuando la demanda supera a la producción, será necesario recurrir a anergia de la red. Para determinar los porcentajes de ahorro energético y las potencias optimas de instalación, se han analizado los datos históricos de consumo y radiación solar. Basándonos en estos análisis y considerando el deseo de prolongar la vida útil del inversor, se ha decidido instalar una capacidad final de 49,5 kWp. Esto nos permitirá minimizar el consumo anual de la red aproximadamente 400 kWh.

Para obtener los datos de la siguiente tabla (*Tabla 12*) se han sumado los consumos de la red de cada mes teniendo en cuenta si se ha vertido energía para dos casos: sin instalación fotovoltaica y con instalación fotovoltaica sin baterías.

Tabla 12: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas sin baterías Fuente: Propia

Meses	Sin instalción kWh	Solo placas kWh	% Ahorro
Enero	7457,78	3315,22	56%
Febrero	5511,178	-11,13	100%
Marzo	6054,625	371,40	94%
Abril	6427,8	1612,95	75%
Mayo	5233,905	-2590,68	149%
Junio	5234,149	-1815,24	135%
Julio	5311,153	-3010,76	157%
Agosto	5366,449	-2610,39	149%
Septiembre	5353,61	-1194,72	122%
Octubre	5569,91	624,85	89%
Noviembre	5406	1158,40	79%
Diciembre	5991,068	3061,21	49%
	68917,63	**-1088,88**	**102%**

Podemos observar como en los meses próximos al verano se vierte mucha energía a la red, pero en los meses de invierno es necesario usarla, de esta forma logramos aproximadamente un balance neto energético próximo a cero.

9.2 Instalación con acumulación

El uso de baterías no tiene un objetivo realmente energético sino más económico ya que buscamos almacenar la energía que generamos de más o buscamos momentos donde la energía está en bajos precios para llenar la batería, por lo que a nivel energético se obtiene un menor ahorro de energía. Debido a que la energía que se deba almacenar en las baterías es prácticamente la misma tanto con gestión como sin ella en este punto es irrelevante realizar los cálculos por separado.

Podemos apreciar en varias tablas (*Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14*) que en términos energéticos se aprovecha mejor la energía sin emplear baterías, pero el uso de baterías tiene un objetivo económico como ya hemos dicho, aunque las baterías tienen una ventaja mayor en cuanto a perdidas por transporte y distribución las cuales minimizaremos significativamente.

Tabla 13: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas y baterías gestionadas *Fuente: Propia*

Meses	Sin instalción kWh	Fotovoltaica empleada	Con gestion kWh	% Ahorro
Enero	7457,78	2885,27	3468,40	53,49%
Febrero	5511,178	2857,92	104,16	98,11%
Marzo	6054,625	3208,43	502,95	91,69%
Abril	6427,8	3338,38	1727,87	73,12%
Mayo	5233,905	3325,92	-2482,58	147,43%
Junio	5234,149	3529,86	-1703,74	132,55%
Julio	5311,153	3562,03	-2870,32	154,04%
Agosto	5366,449	3475,01	-2492,86	146,45%
Septiembre	5353,61	3130,40	-1125,57	121,02%
Octubre	5569,91	2794,42	763,47	86,29%
Noviembre	5406	2426,81	1241,05	77,04%
Diciembre	5991,068	2140,74	3189,56	46,76%
	68917,63	**36675,19**	**322,39**	**99,53%**

Tabla 14: Energía comprada y cálculo del ahorro con placas y baterías sin gestión *Fuente: Propia*

Meses	Sin instalción kWh	Fotovoltaica empleada	Sin gestion kWh	% Ahorro
Enero	7457,78	2833,88	3461,31	53,59%
Febrero	5511,178	2784,85	108,05	98,04%
Marzo	6054,625	3141,01	502,98	91,69%
Abril	6427,8	3317,26	1728,65	73,11%
Mayo	5233,905	3289,66	-2486,66	147,51%
Junio	5234,149	3504,90	-1703,74	132,55%
Julio	5311,153	3540,00	-2870,32	154,04%
Agosto	5366,449	3454,11	-2492,86	146,45%
Septiembre	5353,61	3100,95	-1125,57	121,02%
Octubre	5569,91	2759,09	755,33	86,44%
Noviembre	5406	2344,96	1241,05	77,04%
Diciembre	5991,068	2024,67	3189,43	46,76%
	68917,63	**36095,32**	**307,65**	**99,55%**

También destacar que el uso de baterías tendrá un impacto ambiental, el cual es negativo por su producción, pero positivo a lo largo de su uso, ya que emplearemos en su mayoría energía 100% renovable para cargarlas, en vez de consumir energía de la red la cual en un 50% procede de fuentes no renovables

A partir de estas dos últimas tablas (*Tabla 13 y Tabla 14*), apreciamos que el aprovechamiento energético es muy similar si empleamos la gestión de baterías como si no, pero como ya se ha dicho el objetivo de la gestión es reducir los costes económicos en nuestra industria.

10. Análisis económico

Analizaremos la viabilidad económica y el tiempo de amortización para cada tipo de instalación para finalmente concluir con cual sacaremos una mayor rentabilidad, para ello emplearemos los indicadores económicos VAN, valor actual neto, el cual debe ser mayor que cero a lo largo de la amortización para que el proyecto sea económicamente viable, y el TIR, tasa interna de retorno que nos indica cual es la tasa con la cual recuperaremos nuestra inversión, por lo tanto debe ser lo mayor posible.

10.1. Instalación sin acumulación

A continuación, se muestra en presupuesto de los materiales elegidos teniendo en cuenta la instalación y la puesta en marcha y sumando el IVA, para lograr una aproximación lo más real posible.

	Cantidad	**Precio/ud**	
Panel EM550-PH (Tensite)	90	100,43 €	9.038,70 €
Inversor Solar Trifásico KOSTAL PIKO CI 50 - 50 KW	1	3.792,28 €	3.792,28 €
Control y montaje	1	8.000,00 €	8.000,00 €
Puesta en marcha	1	10.120,00 €	10.350,00 €
			31.180,98 €
		21% IVA	6.548,01 €
			37.728,99 €

Una vez conocido el total necesitamos saber la cantidad que nos ahorramos por la instalación de las placas.

Según los datos de la *Tabla 15* observamos que cada año solo pagaríamos 3.280,71 € que es el resultado de restar la energía que compramos, 6.446,99 €, menos la energía compensada, 3.166,28 €, de los 10.724,47 € que pagaríamos sin ninguna instalación siguiendo los precios de SomEnergia y sin tener en cuenta los términos de potencia que serán los mismos para todos los casos.

Tabla 15: Coste económico y cálculo del ahorro con placas sin baterías *Fuente: Propia*

Meses	Sin instalción €	Solo placas comprado €	Solo placas vertido €	% Ahorro
Enero	1.255,06 €	858,44 €	- 143,93 €	43%
Febrero	945,87 €	562,65 €	- 252,59 €	67%
Marzo	958,18 €	558,12 €	- 237,92 €	67%
Abril	908,94 €	538,18 €	- 160,03 €	58%
Mayo	740,44 €	390,29 €	- 392,09 €	100%
Junio	777,66 €	389,89 €	- 326,31 €	92%
Julio	895,54 €	437,54 €	- 417,22 €	98%
Agosto	797,38 €	418,72 €	- 400,11 €	98%
Septiembre	794,71 €	460,31 €	- 317,29 €	82%
Octubre	786,26 €	512,38 €	- 219,33 €	63%
Noviembre	849,56 €	577,60 €	- 192,35 €	55%
Diciembre	1.014,88 €	742,89 €	- 107,09 €	37%
	10.724,47 €	**6.446,99 €**	**- 3.166,28 €**	**69%**

Una vez obtenidos estos números comprobamos tanto el VAN como el TIR para comprobar la viabilidad y tener una mayor facilidad para comparar con la otra opción, para ello debemos realizar el estudio de amortización (*Tabla 16*).

Tabla 16: Amortización instalación placas *Fuente: Propia*

Años	Amortización	Años.	Amortización,
0	- 37.728,99 €		
1	- 30.285,23 €	**11**	44.152,37 €
2	- 22.841,47 €	**12**	51.596,13 €
3	- 15.397,71 €	**13**	59.039,89 €
4	- 7.953,95 €	**14**	66.483,65 €
5	- 510,19 €	**15**	73.927,41 €
6	6.933,57 €	**16**	81.371,17 €
7	14.377,33 €	**17**	88.814,93 €
8	21.821,09 €	**18**	96.258,69 €
9	29.264,85 €	**19**	103.702,45 €
10	36.708,61 €	**20**	111.146,21 €

Para poder realizar el calculo de esta tabla de amortización, primero debemos calcular el ahorro que tenemos por la implantación de las placas fotovoltaicas, 10.724,47-3.280,71 = **7443.76 €/año**, valor el cual iremos sumando a nuestra caja que en inicio estará en negativo por la inversión inicial que se ha realizado.

Partiendo de estos valores de flujo de caja obtendremos un VAN = 274.902,89 € y un TIR = 17%, para el cálculo del VAN hemos supuesto un interés del 5,5%, ya que es el interés promedio para este tipo de préstamos.

A la vista de estos resultados podemos observar que se trata de un proyecto con gran rentabilidad con visión a 20 años, ya que es la vida estimada de la batería, para las placas se estima una vida útil de 25 años.

10.2. Instalación con acumulación

Para la elección del tamaño de la batería se ha tenido en cuenta principalmente el coste por kW de la batería [5]. En la siguiente gráfica podemos apreciar la relación entre el precio total de la batería y el precio por kW.

A la vista de la *Ilustración 22* la mejor opción de capacidad es 40 kW, por lo que a partir de ahora lo tomaremos como la elección, ya que es la capacidad que tiene el mejor coste por kW.

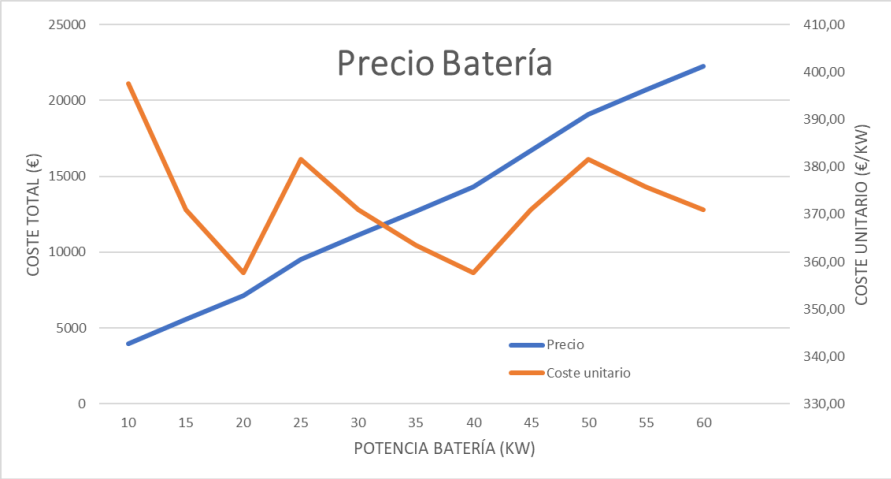

Ilustración 22: Comparación precios en relación con la capacidad *Fuente: Propia*

Una vez elegida la capacidad de la batería y conociendo su coste económico podemos realizar el estudio económico.

10.2.1 Batería sin gestión

Al igual que en el apartado anterior vamos a comparar el coste económico sobre la energía que tendría la instalación de baterías con una instalación de solamente placas.

Según los datos de la *Tabla 17* observamos que cada año solo pagaríamos 2.480,75 € que es el resultado de restar la energía que compramos, 4.896,63 €, menos la energía compensada, 2.415,88 €, de los 10.724,47 € que pagaríamos sin ninguna instalación siguiendo los precios de SomEnergia y sin tener en cuenta los términos de potencia que serán los mismos para todos los casos.

Tabla 17: Ahorro con batería sin gestión *Fuente: Propia*

Meses	Sin instalción €	Sin gestion comprado €2	Sin gestion vertido €	% Ahorro
Enero	1.255,06 €	738,27 €	- 90,28 €	48,37%
Febrero	945,87 €	422,07 €	- 192,44 €	75,72%
Marzo	958,18 €	437,10 €	- 179,05 €	73,07%
Abril	908,94 €	435,14 €	- 105,82 €	63,77%
Mayo	740,44 €	276,48 €	- 329,26 €	107,13%
Junio	777,66 €	255,91 €	- 254,60 €	99,83%
Julio	895,54 €	278,18 €	- 346,37 €	107,61%
Agosto	797,38 €	282,76 €	- 326,81 €	105,52%
Septiembre	794,71 €	323,57 €	- 247,57 €	90,44%
Octubre	786,26 €	394,53 €	- 155,57 €	69,61%
Noviembre	849,56 €	443,94 €	- 130,83 €	63,14%
Diciembre	1.014,88 €	608,69 €	- 57,29 €	45,67%
	10.724,47 €	**4.896,63 €**	**- 2.415,88 €**	**76,87%**

10.2.2 Batería con gestión

Según los datos de la *Tabla 18* observamos que cada año solo pagaríamos 2.461,27 € de los 10.724,47 € que pagaríamos sin ninguna instalación siguiendo los precios de SomEnergia y sin tener en cuenta los términos de potencia que serán los mismos para todos los casos.

Tabla 18: Ahorro con batería con gestión *Fuente: Propia*

Meses	Sin instalción €	Con gestion comprado €	Con gestion vertido €	% Ahorro
Enero	1.255,06 €	733,50 €	- 90,28 €	48,75%
Febrero	945,87 €	422,07 €	- 192,44 €	75,72%
Marzo	958,18 €	433,03 €	- 179,05 €	73,49%
Abril	908,94 €	435,14 €	- 105,82 €	63,77%
Mayo	740,44 €	274,89 €	- 329,26 €	107,34%
Junio	777,66 €	255,91 €	- 254,60 €	99,83%
Julio	895,54 €	276,63 €	- 346,37 €	107,79%
Agosto	797,38 €	280,04 €	- 326,81 €	105,87%
Septiembre	794,71 €	323,57 €	- 247,57 €	90,44%
Octubre	786,26 €	393,09 €	- 155,57 €	69,79%
Noviembre	849,56 €	443,94 €	- 130,83 €	63,14%
Diciembre	1.014,88 €	605,33 €	- 57,29 €	46,00%
	10.724,47 €	**4.877,15 €**	**- 2.415,88 €**	77,05%

A nuestro presupuesto anterior debemos añadir el precio de las baterías por que nos quedara el siguiente presupuesto:

	Cantidad	Precio/ud	
Panel EM550-PH (Tensite)	90	100,43 €	9.038,70 €
Inversor Solar Trifásico KOSTAL PIKO CI 50 - 50 KW	1	3.792,28 €	3.792,28 €
Control y montaje	1	8.000,00 €	8.000,00 €
Puesta en marcha	1	10.120,00 €	10.350,00 €
Pylontech US2000C Plus 48V 21,6 kW	2	7.155,00 €	14.310,00 €
			45.490,98 €
		21% IVA	9.553,11 €
			55.044,09 €

Una vez obtenido el coste de instalación comprobamos tanto el VAN como el TIR para comprobar la viabilidad y tener una mayor facilidad para comparar con la otra opción, para ello debemos realizar el estudio de amortización (*Tabla 19*) para la instalación sin gestión y otra amortización (*Tabla 20*) para la instalación con gestión.

Para el estudio de acumulación sin gestión, primero debemos calcular nuestro ahorro, 10.724,47 - 2.480,75 = **8.243,72 €/año**; y procedemos igual que para el caso anterior.

Tabla 19: Amortización de instalación fotovoltaica con acumulación sin gestión *Fuente: Propia*

Años	Amortización	Años.	Amortización,
0	- 55.044,09 €		
1	- 46.800,37 €	**11**	35.636,83 €
2	- 38.556,65 €	**12**	43.880,55 €
3	- 30.312,93 €	**13**	52.124,27 €
4	- 22.069,21 €	**14**	60.367,99 €
5	- 13.825,49 €	**15**	68.611,71 €
6	- 5.581,77 €	**16**	76.855,43 €
7	2.661,95 €	**17**	85.099,15 €
8	10.905,67 €	**18**	93.342,87 €
9	19.149,39 €	**19**	101.586,59 €
10	27.393,11 €	**20**	109.830,31 €

Partiendo de estos valores de flujo de caja obtendremos un VAN = 141.670,40 € y un TIR = 10%, para el cálculo del VAN hemos supuesto un interés del 5,5%, ya que es el interés promedio para este tipo de préstamos.

Repetimos el procedimiento para el caso de acumulación con gestión, 10.724,47 – 1.880,55 = **8.843,92 €/año**

Tabla 20: Amortización de instalación fotovoltaica con acumulación con gestión *Fuente: Propia*

Años	Amortización	Años.	Amortización,
0	- 55.044,09 €		
1	- 46.200,17 €	**11**	42.239,03 €
2	- 37.356,25 €	**12**	51.082,95 €
3	- 28.512,33 €	**13**	59.926,87 €
4	- 19.668,41 €	**14**	68.770,79 €
5	- 10.824,49 €	**15**	77.614,71 €
6	- 1.980,57 €	**16**	86.458,63 €
7	6.863,35 €	**17**	95.302,55 €
8	15.707,27 €	**18**	104.146,47 €
9	24.551,19 €	**19**	112.990,39 €
10	33.395,11 €	**20**	121.834,31 €

Partiendo de estos valores de flujo de caja obtendremos un VAN = 201.179,15 € y un TIR = 12%, para el cálculo del VAN hemos supuesto un interés del 5,5%, ya que es el interés promedio para este tipo de préstamos.

A la vista de estos resultados podemos observar que se trata de un proyecto con gran rentabilidad con visión a 20 años, ya que es la vida estimada tanto de la batería como de las placas.

A continuación, en la siguiente tabla (*Tabla 21*) compararemos los resultados obtenidos en los estudios realizado con anterioridad.

Tabla 21:Comparación estudios económicos *Fuente: Propia*

,	VAN	TIR
Solo placas	274.902,89 €	17%
Acumulación sin gestión	141.670,40 €	10%
Acumulación con gestión	201.179,15 €	12%

En lo referente a términos económicos la instalación mas rentable es sin placas, lo cual era de esperar debido al alto precio actual de las baterías, pero comparando la instalación sin gestión y con gestión observamos en la Tabla 21 que el uso de la gestión es mucho mas rentable al tener un mayor VAN a lo largo de la vida de los componentes, así como el TIR, el cual nos indicara la tasa de retorno y nos interesa la de mayor valor, que se puede apreciar que para el caso de emplear gestion es superior al caso de no emplearlo.

11. Conclusión

A la vista de los resultados y como era de esperar el proyecto más rentable será el que no emplea acumuladores, ya que éstos actualmente tienen un precio muy elevado, lo cual dificulta su amortización. Aunque la inclusión de baterías aumenta la cantidad de energía que auto consumimos y en lo referente al coste de la energía es más económico, resulta evidente que un gran problema es el alto costo de las baterías y la depreciación acelerada que afecta negativamente al VAN y al TIR. Quedando ambos indicadores muy por encima para el caso de solo instalar placas.

De este estudio podemos concluir que este tipo de instalaciones con baterías no es muy rentable y alarga mucho el tiempo de amortización debido al alto coste material de las baterías, seria interesante volver hacer el estudio si en un futuro el coste de las baterías bajase aproximadamente entre un 20% y un 30%. También seria interesante analizar para diferentes tarifas y adecuando la potencia, por ejemplo, aplicar para una potencia de 5 kW y con tarifa fija tanto de compra como de excedentes o con tarifa de libre mercado.

Aunque a nivel económico es más rentable una instalación sin acumuladores, esta gestión podríamos aplicarla por un bien ambiental, ya que de esta manera evitamos las pérdidas por distribución y transporte y hacemos uso de una energía 100% renovable teniendo un mínimo impacto ambiental ya que emplearemos los tejados de las naves para hacer la instalación.

12. Bibliografía

[1] pvchange (10/07/2024). [Online] Price. Pvchange. https://www.pvxchange.com/Price-Index

[2] Global Solar Atrás (11/04/2024). [Online] Global Solar Atlas. https://globalsolaratlas.info/map?c=42.122673,-6.899414,6&s=42.462396,-3.222884&m=site

[3] AutoSolar. (11/04/2024). [Online] Panel Solar 24v. AutoSolar https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-550w-monocristalino-perc-tensite

[4] FusionEnergiaSolar (17/04/2024). [Online] Inversor 50 kW. FusionEnergiaSolar https://fusionenergiasolar.es/inversores-solares/1224-inversor-solar-trifasico-kostal-piko-ci-50-50-kw.html

..[5] WccSolar (17/04/2024). [Online] Bateria litio. WccSolar https://www.wccsolar.net/bateria-litio-9-6kwh-pylontech-us2000b-plus-48v/

..[6] Somenergia (11/04/2024). [Online] Tarifas. Somenergia. https://www.somenergia.coop/es/tarifas-de-electricidad-que-ofrecemos/tarifa-periodos/#tarifa30TD