



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

**Dimensionamiento de instalación
fotovoltaica conectada a red en el
complejo deportivo Ciudad de Valladolid**

Autor:

Silva Martín, Pablo

Tutor:

**Pérez García, Julián Manuel
Departamento Ingeniería Eléctrica**

Valladolid, julio 2023



• Agradecimientos

El poder realizar este trabajo de Fin de Grado me ha servido para poner en práctica muchos de los conocimientos y conceptos adquiridos a lo largo del Grado.

Quería transmitir mi agradecimiento a todos los que han estado a mi lado todos estos años, ayudándome en cada momento y no dejando que nunca me rindiera.

En primer lugar a mis padres y hermano, los cuales han estado día a día apoyándome, sobre todo en los momentos difíciles.

En segundo lugar a Victoria, agradecerle todo lo que hace por mi cada día, estando conmigo en todo momento apoyándome, tanto en los buenos como en los malos días además de poner toda la paciencia del mundo.

Sin ellos esto no habría sido posible así que solo puedo decirles gracias.

No puedo olvidarme de todos mis amigos que siempre están para lo que haga falta.

Agradecer también a Julián, mi tutor en este trabajo, toda la dedicación y ayuda en el desarrollo del trabajo.

Por último, dar las gracias a la Fundación Municipal de Deportes y a la empresa Cyclorenovables toda la información aportada para hacer más fácil el desarrollo de este Trabajo.

Muchas gracias a todos.



• Resumen

Durante los últimos años las energías renovables se han visto impulsadas por la necesidad de aumentar la generación de energía a través de “energía limpia”. Dentro de todas las posibilidades de energías renovables que existen, la energía fotovoltaica ha sido una de las que más auge durante los últimos años debido a la bajada de los precios de los componentes y la facilidad de instalación, tanto a nivel industrial como doméstico, además de la cantidad de ayudas que recibe para su instalación

Es por eso que este trabajo recoge un estudio tanto energético como económico que analiza la posibilidad de la implantación de una instalación solar fotovoltaica en el complejo deportivo “Ciudad de Valladolid”, que permita reducir los consumos de la red y la utilización de energía limpia en todo el complejo deportivo

Palabras claves: energía solar, autoconsumo, instalación fotovoltaica, excedentes, ahorro

• Abstract

In recent years, renewable energies have been driven by the need to increase power generation through clean energy. Among all the possibilities of renewable energy that exist, photovoltaic energy has been one of the most booming in recent years due to the drop in component prices and the ease of installation, both at an industrial and domestic level, in addition of the amount of aid it receives for its installation

That is why this work includes an energy and economic study that analyzes the possibility of implementing a photovoltaic solar installation in the "Ciudad de Valladolid" sports complex, which allows reducing network consumption and the use of clean energy in the entire sports complex

Key words: solar energy, self-consumption, photovoltaic installation, surplus, saving



• **Índice general** _____

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... 1

 1.1. Introducción..... 1

 1.2. Objetivos 5

2. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA 7

 2.1. Instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica 9

 2.2. Instalación conectada a red..... 10

 2.2.1. Modalidad con excedentes acogida a compensación:..... 12

 2.2.2. Modalidad con excedentes no acogida a compensación: 12

3. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO 13

 3.1. Antecedentes 13

 3.2. Situación y emplazamiento 13

 3.3. Características de la instalación 14

 3.4. Reglamentación vigente 15

 3.4.1. Legislación eléctrica aplicable 15

 3.4.2. Legislación de seguridad e higiene aplicable 16

 3.4.3. Legislación medioambiental aplicable 17

4. ESTUDIO 19

 4.1. Estudio de consumos actuales 19

 4.2. Estudio energético 21

 4.2.1. Autoconsumo sin baterías..... 22

 4.2.2. Autoconsumo con baterías..... 26

 4.3. Estudio económico..... 35

 4.4. Evaluación final..... 48

5. CONCLUSIONES 49

6. BIBLIOGRAFÍA..... 51

7. ANEXOS 53

 7.1. Características del complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” 53

 7.2. Características de la instalación fotovoltaica 56

 7.3. Tablas de cálculos económicos 58

 7.4. Tablas cálculos rentabilidad económica 60

8. PLANOS..... 61



• Índice de gráficos

Gráfico 1: evolución de energía fotovoltaica generada en un año en España, serie 2007-2002 (fuente: REE, elaboración propia)..... 3

Gráfico 2: energía producida en un día medio del año en Renedo para una instalación de 100 KWp (fuente:PVSyst, elaboración propia)..... 9

Gráfico 3: energía consumida en un día medio (KWh) en el complejo Ciudad de Valladolid (fuente: FMD)..... 20

Gráfico 4: energía consumida por meses (KWh) en el complejo Ciudad de Valladolid (fuente: FMD) 20

Gráfico 5: evolución de PV frac, Sol Frac y Autoconsumo en función de la potencia de la instalación . (calculados con programa PVSyst) 23

Gráfico 6: variación de las variables E_user, EFGrid, E_Avail, E_solar y E_Grid a lo largo de un día medio según potencia instalada (calculados con programa PVSyst)..... 24

Gráfico 7: delimitación de los parámetros PV frac, Sol Frac y Autoconsumo en función de la potencia de la instalación para optimización de la instalación (calculados con programa PVSyst). 25

Gráfico 8: evolución de PV frac en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVSyst).. 27

Gráfico 9: evolución de Sol frac en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVSyst). 28

Gráfico 10: evolución de autoconsumo en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVSyst). 29

Gráfico 11 (A, B, C y D): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (10 a 40 baterías) (calculados con programa PVSyst). 30

Gráfico 12 (E, F, G y H): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (50 a 80 baterías) (calculados con programa PVSyst). 31

Gráfico 13 (I y J): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (50 a 80 baterías) (calculados con programa PVSyst). 32

Gráfico 14 (B, D y J): Variación de variables para potencia instalada de 70 KWp y diferentes tamaños de almacenamiento (20, 40 y 100 baterías en paralelo) (calculados con programa PVSyst).....	35
Gráfico 15: evolución de las variables anuales E_Grid, EFrGrid y E_User para diferentes potencias de instalación sin almacenamiento y con 40 baterías en paralelo de almacenamiento (calculados con programa PVSyst).....	37
Gráfico 16: comparación valores económicos de consumo de energía y ahorro según potencia de la instalación fotovoltaica sin almacenamiento y con 40 baterías en paralelo de almacenamiento.....	40
Gráfico 17: evolución del presupuesto de la instalación según la potencia de las placas y el nº de baterías instaladas.....	42
Gráfico 18: evolución del ahorro anual estimado en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según el nº baterías instaladas. Cada serie representa una potencia de placas instalada.....	44
Gráfico 19: evolución del ahorro anual estimado en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según la potencia de placas instalada. Cada serie representa el nº de baterías en paralelo instaladas. .	45

• Índice de imágenes _____

Imagen 1: evolución energías renovables (fuente: [1])	2
Imagen 2: comparación de generación eléctrica por origen en 2007 y 2022 (fuente: [2]).....	2
Imagen 3: esquema funcionamiento placa solar (fuente: [3]).....	7
Imagen 4: inclinación y orientación de los paneles solares (fuente: [4]).....	8
Imagen 5: esquema instalación fotovoltaica aislada (fuente: [5]).....	10
Imagen 6: esquema de instalación conectada a la red “pura” para venta de energía (fuente: [6])	11
Imagen 7: esquema instalación fotovoltaica conectada a red para autoconsumo (fuente: [7]).....	11
Imagen 8: datos descriptivos de la parcela (fuente: catastro [8])	13
Imagen 9: plano parcela y colindantes (fuente: catastro [8])	14
Imagen 10: foto satélite de la parcela (fuente: google maps).....	15

• Índice imágenes en anexos _____

Imagen (anexos) 1: plano del complejo “Ciudad de Valladolid” (fuente: FMD [9]).....	54
---	----



Imagen (anexos) 2: *detalle de torre de iluminación en campo 1 del complejo “Ciudad de Valladolid” (Fuente: FMD)*55

Imagen (anexos) 3: *localización estación de bombeo y riego en campo 2 del complejo “Ciudad de Valladolid”*.....55

Imagen (anexos) 4: *Panel solar Solarwatt P1.0 Pure (fuente: [10])*56

Imagen (anexos) 5: *Inversor solar trifásico Fronius SYMO 15.0-3wlan (Fuente: [11])*.....56

Imagen (anexos) 6: *sistema carport, modelo propuesto para la instalación de las placas solares (Fuente: [12])*.....57

Imagen (anexos) 7: *zona de aparcamiento en el complejo “Ciudad de Valladolid” donde se propone la instalación (Fuente: google maps)*57

• **Índice tablas** _____

Tabla 1: *desglose de superficie por instalaciones (fuente: FMD [9])*14

Tabla 2: *consumos mensuales en complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” (año 2022) (fuente FMD)*.....19

Tabla 3: *valores de los parámetros PV Frac, Sol Frac y Autoconsumo para diferentes potencias instaladas (calculados con programa PVSyst)*22

Tabla 4: *potencia de almacenamiento en KWh según el número de baterías instaladas*27

Tabla 5: *variación de variables con distintas potencias de instalación de placas y de baterías (calculados con programa PVSyst)*.....35

Tabla 6: *valores anuales de las variables E_Grid, EFrGrid y E_User para diferentes potencias de instalación sin almacenamiento y con 40 baterías de almacenamiento en paralelo (calculados con programa PVSyst)*.....36

Tabla 7: *estimación económica del ahorro para las diferentes opciones de instalación fotovoltaica (Fuente: tarifas horarias año 2022 REE)*38

Tabla 8: *precios de los elementos de la instalación (fuente: Cyclorenovables)* ..41

Tabla 9: *estimación de presupuesto de la instalación según potencia de las placas y nº baterías instaladas*41

Tabla 10: *estimación de ahorro anual en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según potencia de las placas y nº baterías instaladas*43

Tabla 11: *datos económicos TIR y flujo de caja para diferentes opciones de instalación (elaboración propia)*47



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

La utilización de combustibles fósiles, el cambio climático y sus consecuencias medioambientales están impulsando el uso y la transición energética de los combustibles fósiles a las fuentes de energía alternativas. Una de las opciones de energía limpia que se está imponiendo en todo el planeta es la energía fotovoltaica, que procede de la conversión de la energía procedente del sol en electricidad, gracias al efecto fotoeléctrico que se produce en el silicio que compone las células solares.

Por tanto, la energía solar es una fuente de energía 100% renovable, limpia e inagotable que está cambiando nuestras vidas y que forma parte de la transición energética que vive todo el planeta para dejar atrás los combustibles fósiles y reducir nuestro consumo energético con fuentes de energía contaminantes.

La energía fotovoltaica tiene multitud de ventajas, las cuales son:

- Es de origen natural y renovable, por lo que no contamina y no emite CO₂ a la atmósfera.
- Es, en la actualidad, la fuente de energía más económica que existe.
- Disponibilidad en cualquier momento, durante las horas de sol, o también, si se ha almacenado en baterías, a cualquier hora del día.
- Es modular y fácil de instalar en cualquier tejado o en grandes plantas fotovoltaicas.
- No produce ruidos y su impacto visual es mínimo (si se ha hecho una buena integración arquitectónica).
- El mantenimiento de instalaciones solares es asequible y sencillo.
- Ayuda a preservar el medio ambiente y a la transición energética por un futuro verde sin emisiones.

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década.

Junto a la eólica, son las fuentes de energía más baratas que existen y su penetración en el sector de generación eléctrica es ya un hecho imparable.

Como dato, la potencia de energías renovables instalada en España ha evolucionado durante las últimas décadas de manera considerable, como se observa en las imágenes 1 y 2.

Puede observarse el alto crecimiento que tiene en los últimos años, sobre todo la energía fotovoltaica, produciéndose un fuerte escalón a partir del año 2015, triplicando la potencia de este tipo instalada en España.

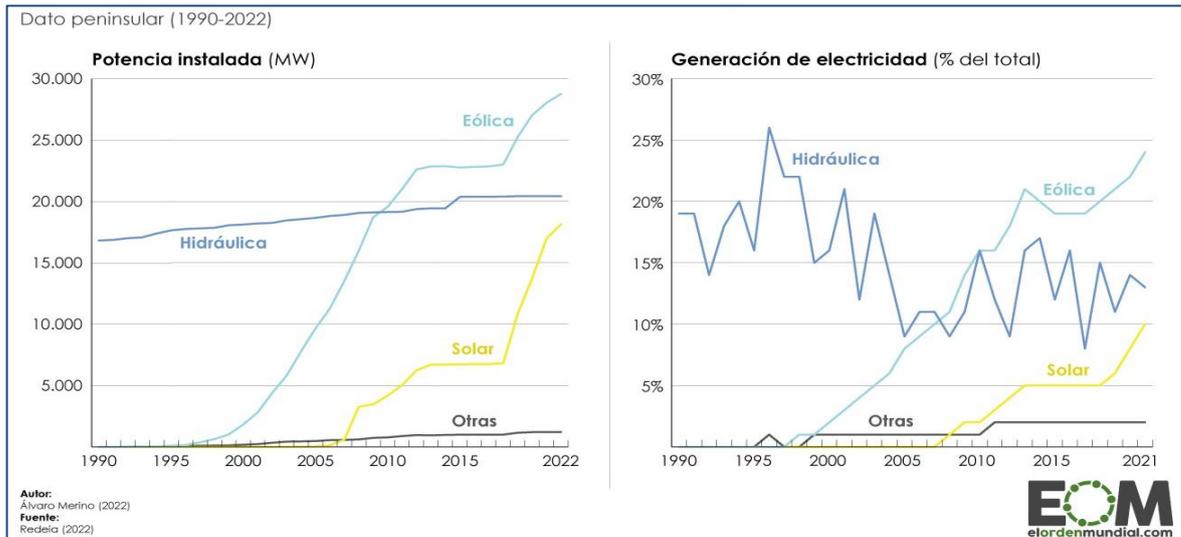


Imagen 1: evolución energías renovables (fuente: [1])

2007		2022	
	2007		2022
Hidráulica	27.106	Hidráulica	17.907
Turbinación bombeo	3.103	Turbinación bombeo	3.776
Nuclear	52.639	Nuclear	55.984
Carbón	70.630	Carbón	7.765
Fuel + Gas	2.091	Fuel + Gas	-
Motores diésel	3.579	Motores diésel	2.548
Turbina de gas	988	Turbina de gas	657
Turbina de vapor	3.307	Turbina de vapor	1.207
Ciclo combinado	70.624	Ciclo combinado	68.137
Eólica	27.612	Hidroeléctrica	23
Solar fotovoltaica	484	Eólica	61.194
Solar térmica	8	Solar fotovoltaica	27.902
Otras renovables	1.923	Solar térmica	4.123
Cogeneración	20.924	Otras renovables	4.657
Residuos no renovables	2.383	Cogeneración	17.754
Residuos renovables	737	Residuos no renovables	1.900
Generación total	288.137	Residuos renovables	878
		Generación total	276.413

Imagen 2: comparación de generación eléctrica en GWh por origen en 2007 y 2022 (fuente: [2])

La imagen 2 muestra una comparativa de las diferentes fuentes de producción de energía eléctrica en los años 2007 y 2022, que muestra el importante crecimiento de la energía fotovoltaica en relación con el resto de formas de producir energía. Simultáneamente, se observa la reducción de las energías fósiles como puede ser el carbón, que producen altas emisiones de CO₂ a la atmósfera.

De la misma forma, en el gráfico 1, se observa la evolución que ha tenido la generación fotovoltaica, pasando de 484 GWh generados el año 2007 a 27.902 GWh en el año 2022.

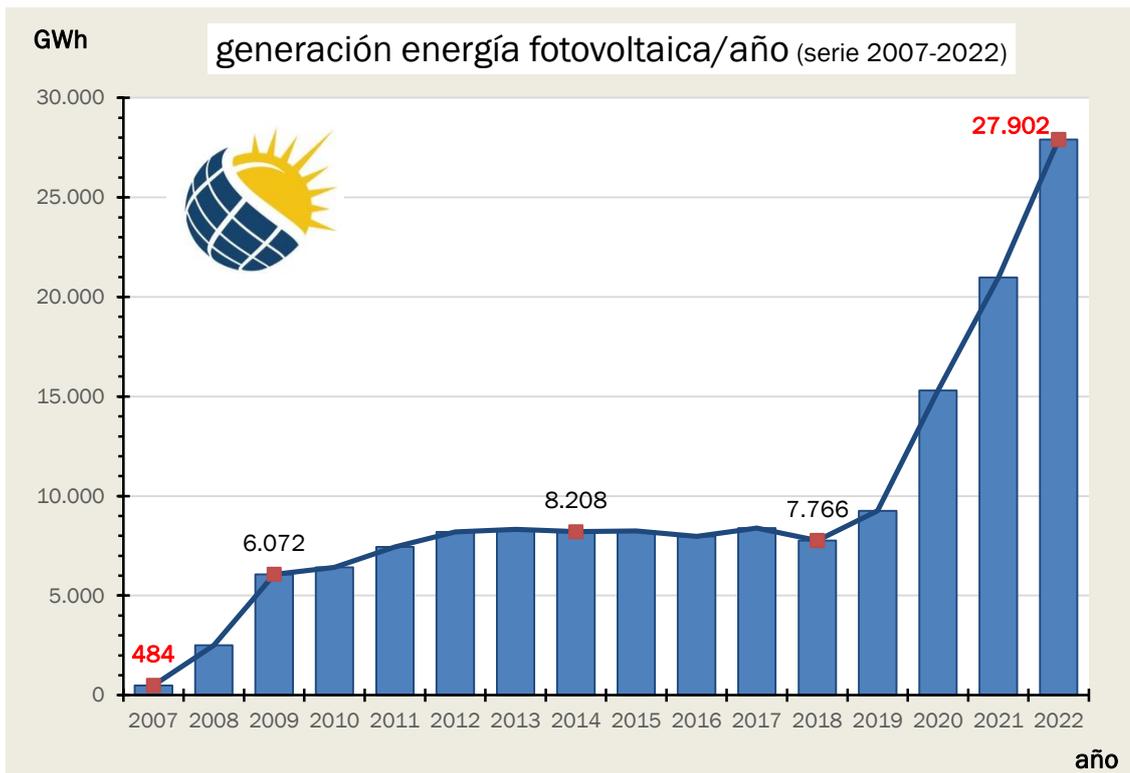


Gráfico 1: evolución de energía fotovoltaica generada en un año en España, serie 2007-2022 (fuente: REE, elaboración propia)

Por lo tanto, una forma más fácil y económica de conseguir disminuir la dependencia energética es implementar el autoconsumo eléctrico a partir de fuentes de energía renovables. Para conseguir esto tendrá un papel fundamental la energía fotovoltaica, ya que es la instalación de energía renovable más económica, con unas características técnicas más aplicables al autoconsumo.

Además, la legislación fiscal ha avanzado mucho en los últimos años respecto a este tipo de instalaciones, aboliendo el llamado “impuesto al sol” y ofreciendo subvenciones y otras posibilidades de consumo de renovables como el autoconsumo remoto.

En el ámbito industrial, también son un factor para tener en cuenta ya que, al tener un gran consumo eléctrico, con una pequeña inversión en instalaciones de energía renovable pueden reducir su factura de la luz de forma considerable.



1.2. Objetivos

Este trabajo tiene por objetivo realizar un estudio tanto energético como económico para una posible implantación de una instalación fotovoltaica en el complejo deportivo “Ciudad de Valladolid”.

Durante el desarrollo del mismo se utilizarán los consumos reales del complejo para aproximar de una manera más exacta el estudio, además de utilizar un presupuesto real obtenido gracias a la ayuda de la empresa Cyclorenovables.

El objetivo del estudio energético se basará en realizar diferentes simulaciones del sistema mediante el programa informático PVSyst, proporcionado por la Universidad de Valladolid, determinando cual es la combinación ideal para el complejo respecto a la potencia fotovoltaica instalada y al sistema de almacenamiento, desde un punto de vista energético, sin tener en ningún momento en cuenta aspectos económicos

Por otro lado, el objetivo del estudio económico, ayudará a proporcionar una idea más clara de cuál es la instalación ideal a implantar en un futuro en el complejo deportivo, mezclando aspectos del estudio energético pero en este caso utilizando variables como el ahorro que proporcionará las diferentes combinaciones de instalaciones.

Finalmente, se intentará determinar el diseño que proporcione unos buenos resultados tanto energéticos como económicos.

2. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Una instalación solar fotovoltaica, también llamada instalación de energía solar, o simplemente instalación fotovoltaica es el sistema diseñado para producir energía eléctrica por medio de la radiación solar. Utiliza la radiación del sol para producir energía eléctrica en forma de corriente continua, es decir, transforma la energía solar en energía eléctrica.

Su componente principal y el que permite la producción de energía es la placa o módulo solar/fotovoltaico. El funcionamiento de los paneles solares se basa principalmente en la célula solar fotovoltaica que transforma la energía solar directamente en eléctrica utilizando **energía fotoeléctrica**.

La generación fotovoltaica es precisamente la propiedad que tienen ciertos materiales (como es en este caso el silicio, principio fundamental de las placas fotovoltaicas) para generar corriente eléctrica cuando se encuentran sometidos a radiación solar.

Una placa o módulo solar se compone de una serie de células fotovoltaicas, estas son capas de silicio "dopadas" con fósforo y boro, que gracias a la radiación solar generan un flujo eléctrico por la liberación de electrones.

Los rayos solares están compuestos por fotones que llegan a las células fotovoltaicas de la placa, generando un campo de electricidad entre ellas y, por tanto, un circuito eléctrico. Cuanto más intensa sea la luz, mayor será el flujo de electricidad.

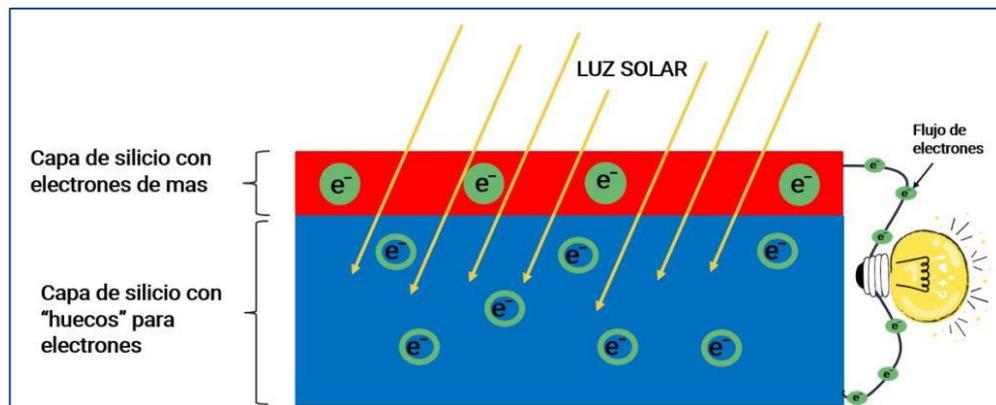


Imagen 3: esquema funcionamiento placa solar (fuente: [3])

La producción fotovoltaica depende de cómo se coloquen las placas en relación a dos factores fundamentales, la orientación o azimut (α) y la inclinación (β).

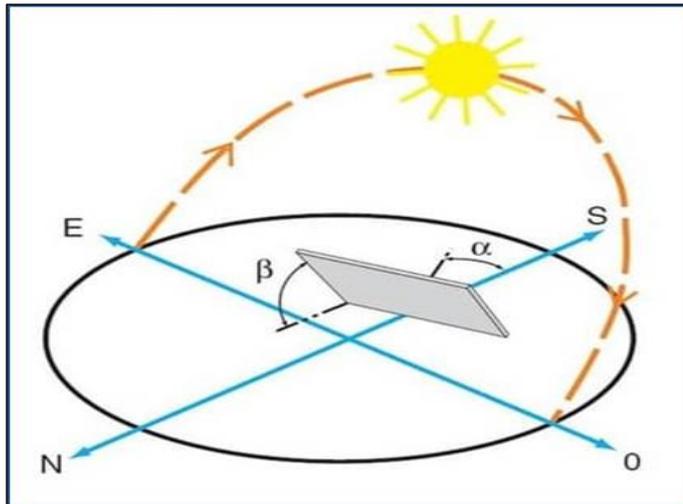


Imagen 4: inclinación y orientación de los paneles solares (fuente: [4])

Para determinar la inclinación se puede aplicar la fórmula de la inclinación óptima anual:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\phi|)$$

siendo:

β : ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$: latitud del lugar, sin signo (grados)

Esta fórmula expresa la inclinación óptima en un año para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar estático. Está basada en el análisis estadístico de la radiación solar media anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar.

Una vez visto lo básico de cómo funciona una placa solar y cómo produce la energía eléctrica, el segundo paso es describir los diferentes componentes de una instalación fotovoltaica y que son necesarios para su posterior utilización.

Como la producción de energía eléctrica en las placas solares se produce en corriente continua y la mayoría de los elementos que necesitan de electricidad para funcionar usan corriente alterna, la energía producida en las placas solares deberá de ser convertida.

Todas las instalaciones fotovoltaicas cuentan con un inversor de corriente para esta conversión. Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Esta conversión de corriente se produce gracias a transistores.

Estos dos componentes principales de la instalación, módulos e inversor, permiten suministrar energía a cualquier elemento que la necesite, pero sólo en el momento de su producción, es decir, se trata de una energía

instantánea. Esto se debe a que la energía fotovoltaica solamente se produce en las horas centrales del día, cuando el sol se encuentra en una posición óptima, como se puede observar en la siguiente curva.

Como se observa en el gráfico 2 anterior, la mayor producción fotovoltaica se sitúa en las horas centrales del día y, en consecuencia, de esta forma, en el resto de las horas habrá menos energía.

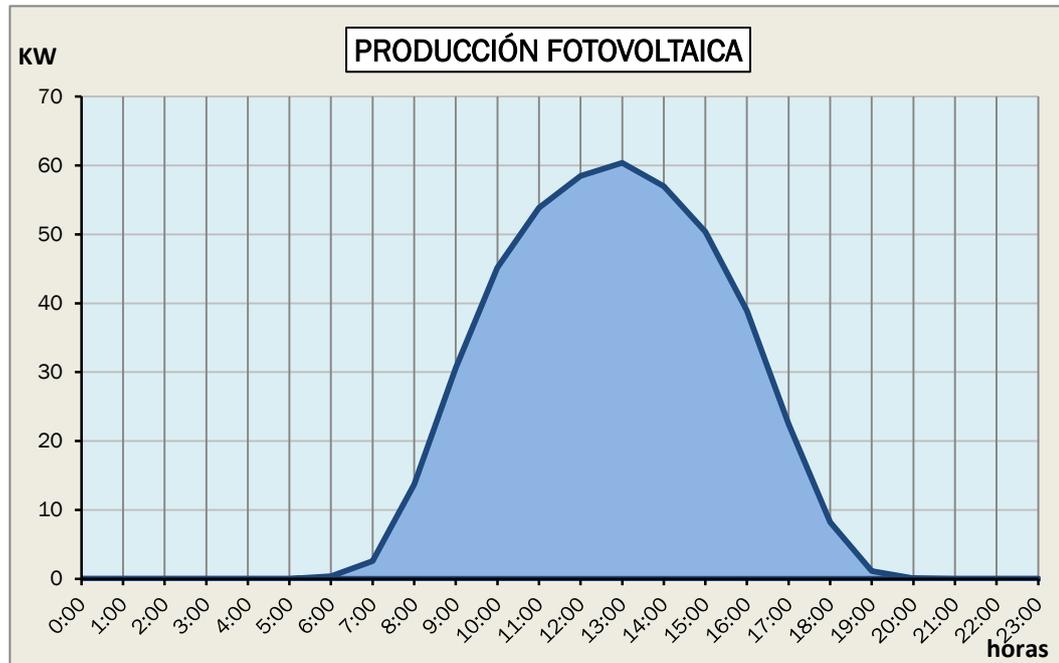


Gráfico 2: energía producida en un día medio del año en Renedo para una instalación de 100 KWp (fuente:PVSystem, elaboración propia)

Para resolver este problema, existen dos soluciones posibles: conectar la instalación a la red para coger energía de la misma cuando sea necesaria, o instalar un sistema de baterías que almacenen la energía sobrante en los momentos de mayor producción para ser utilizada en los momentos en los que la producción no sea suficiente o nula.

En base a esto, se diferencian dos tipos de instalaciones:

- instalaciones aisladas
- instalaciones conectadas a red

2.1. Instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica _____

Una instalación fotovoltaica aislada es una instalación de placas solares la cual no cuenta con conexión a la red eléctrica, es decir, el usuario es el encargado de generar su propia electricidad, sin depender de ninguna comercializadora. Al no disponer de conexión con la red eléctrica, se necesita la utilización de baterías, en las cuales se almacena la energía eléctrica para ser utilizada cuando la producción es inferior a la demanda de energía.

A parte de los elementos principales antes nombrados, este tipo de instalación cuenta con una serie de elementos imprescindibles para su funcionamiento:

- regulador
- acumuladores o baterías

Un esquema básico de este tipo de instalaciones sería:

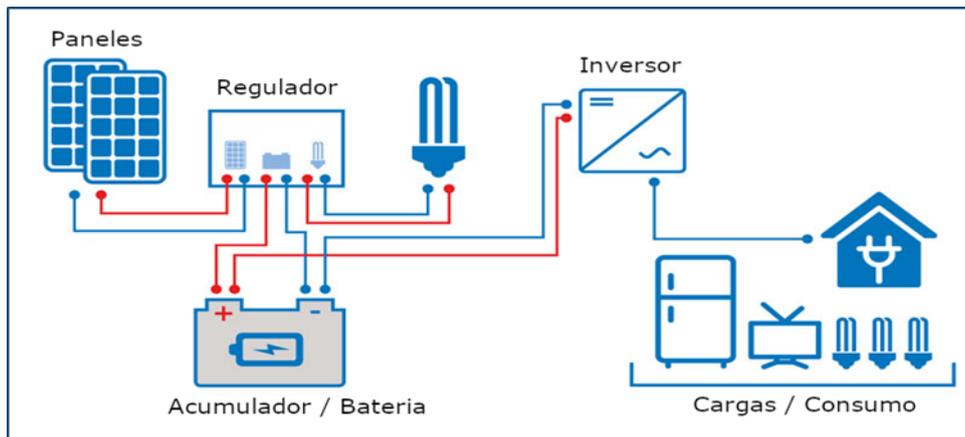


Imagen 5: esquema instalación fotovoltaica aislada (fuente: [5])

El componente principal de este tipo de instalaciones aisladas sin conexión a la red, es el regulador, el cual se encarga de desviar la energía producida, bien para llenar las baterías en los momentos en los que la demanda es menor que la producción o bien para alimentar los equipos que requieran energía, a través del inversor si son equipos de corriente alterna, o directamente si los equipos son de corriente continua.

2.2. Instalación conectada a red

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica funcionan como si fueran un generador más, es decir, son una central de producción de electricidad que aporta energía a la red eléctrica.

A diferencia de las instalaciones aisladas, las instalaciones conectadas a la red no cuentan con equipos de acumulación, ni reguladores, es decir, que la energía producida es vertida a la red o consumida en el instante.

Dentro de las instalaciones conectadas a la red existen dos tipos:

- instalaciones para venta de energía a red, conocidas como “puras”,
- instalaciones para autoconsumo

En el primer tipo, las instalaciones “puras”, agrupa el conjunto de instalaciones fotovoltaicas que producen energía para ser inyectada en la red en su totalidad, considerándose como centrales eléctricas al igual que las

hidráulicas o las térmicas, pero en este caso generando la energía mediante la radiación solar.

Un esquema básico de este tipo de instalaciones es:

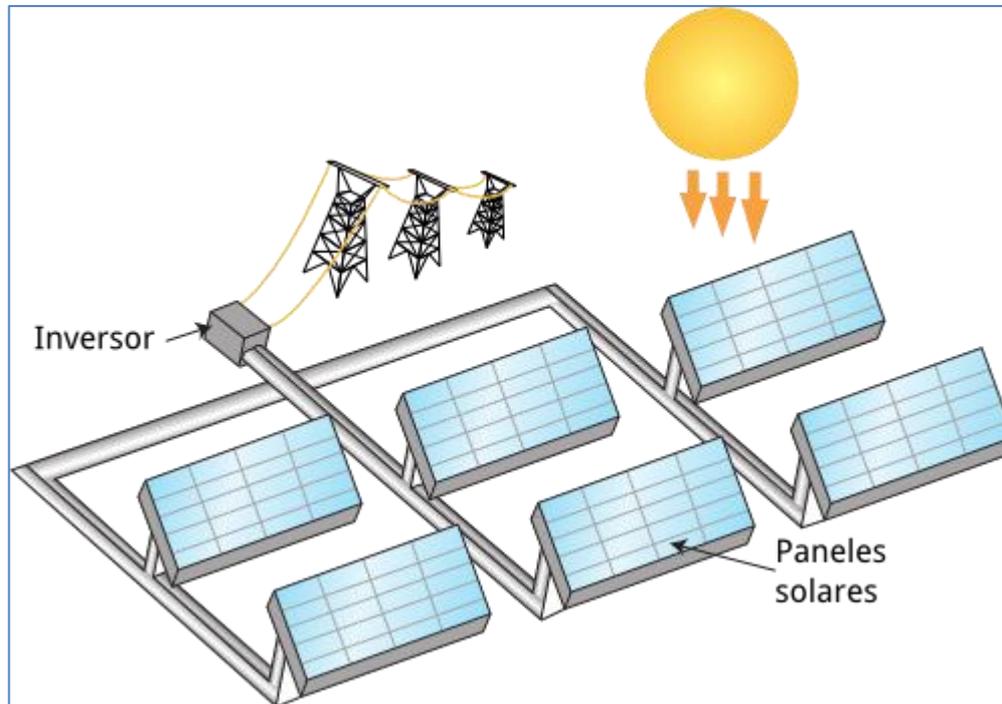


Imagen 6: esquema de instalación conectada a la red "pura" para venta de energía (fuente: [6])

El segundo tipo de instalaciones conectadas a red, las instalaciones de autoconsumo, se diferencia de las otras en que parte de la energía producida es consumida en el instante. En los momentos en los que no existe suficiente demanda, la energía generada sobrante se vuelca a la red eléctrica y de la misma manera, cuando la demanda es mayor que la producción, se toma energía de la red.

Un esquema básico de este tipo de instalaciones es:

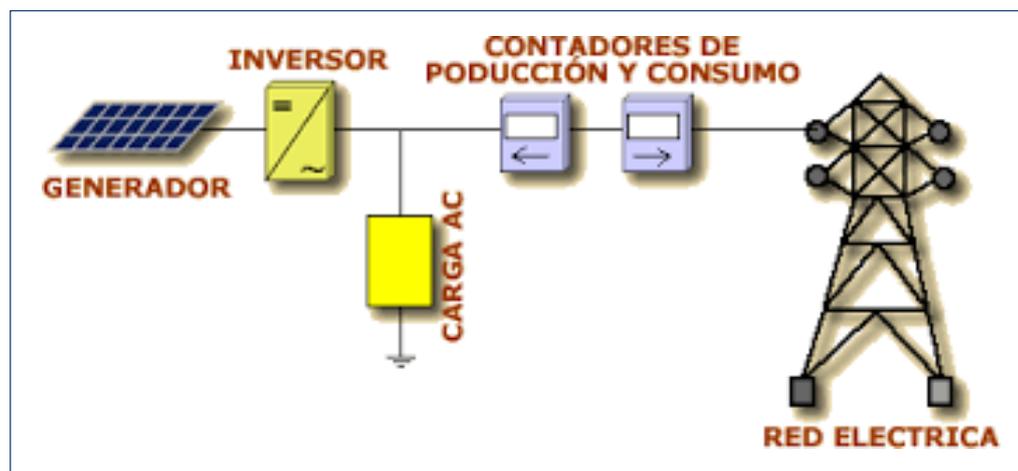


Imagen 7: esquema instalación fotovoltaica conectada a red para autoconsumo (fuente: [7])

Este tipo de instalaciones cuentan con un contador situado entre el inversor y la red eléctrica, que mide la energía vertida y la tomada de la red, según el caso.

Dentro de estas instalaciones, se pueden diferenciar dos tipos, en función del tratamiento dado a los excedentes de energía, según el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica (BOE núm. 83, de 6 de abril de 2019).

2.2.1. Modalidad con excedentes acogida a compensación:

En esta modalidad, el productor de energía fotovoltaica puede compensar en su factura la energía consumida de la red con la energía excedentaria que en un momento determinado no consume. Este mecanismo permite el consumo diferido a lo largo del periodo de facturación de la energía generada.

Esta opción solo es posible en aquellos casos en los que se cumplan estas cinco condiciones:

- i. Que la fuente de energía primaria sea de origen renovable.
- ii. Que la potencia total de las instalaciones de producción asociadas no sea superior a 100 kW.
- iii. Que el consumidor se haya adherido a un único contrato de suministro para el consumo con una comercializadora.
- iv. Que la instalación de producción no tenga otorgado un régimen retributivo adicional o específico.

En estas instalaciones el consumidor sólo puede compensar la energía que no ha consumido, por lo que el resultado de la factura nunca será negativo, dado que no es una actividad retributiva.

2.2.2. Modalidad con excedentes no acogida a compensación:

Pertenerán a esta modalidad, todos aquellos casos de autoconsumo con excedentes que no cumplan con alguno de los requisitos indicados en el punto anterior o que voluntariamente opten por no acogerse a la compensación.

En esta modalidad, la energía generada que no es consumida puede ser vendida en el mercado eléctrico. Para esto, es necesario registrar la instalación como productora de energía eléctrica, hay que darse de alta como productor eléctrico, declarar estas rentas pagando el impuesto de generación correspondiente y el IVA cada trimestre.

3. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

3.1. Antecedentes

El desarrollo de este proyecto se plantea por el aumento progresivo del precio de la energía así como por la inquietud creciente ante el cambio climático, causado principalmente por el efecto invernadero debido a la emisión de CO₂ a la atmósfera.

El objetivo es poder contribuir a reducir la dependencia energética con medios contaminantes diseñando una instalación solar fotovoltaica, y de esta forma, utilizar energía limpia con el fin de poder cumplir el objetivo del PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima), que se marca el objetivo de cubrir el 42% de consumo en España mediante energías renovables, así como la reducción del 23% de las emisiones para el año 2030.

La finalidad de este trabajo de fin de grado es estudiar y dimensionar una instalación fotovoltaica, para poder minorar el coste de la energía eléctrica, utilizando una fuente de energía limpia que no dañe nuestro planeta.

3.2. Situación y emplazamiento

El complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” se encuentra situado en la ciudad de Valladolid, en la carretera de Renedo nº29, C.P. 47011.

La referencia catastral de la instalación es 0636401UM6103F0001ZB y su uso principal es deportivo.

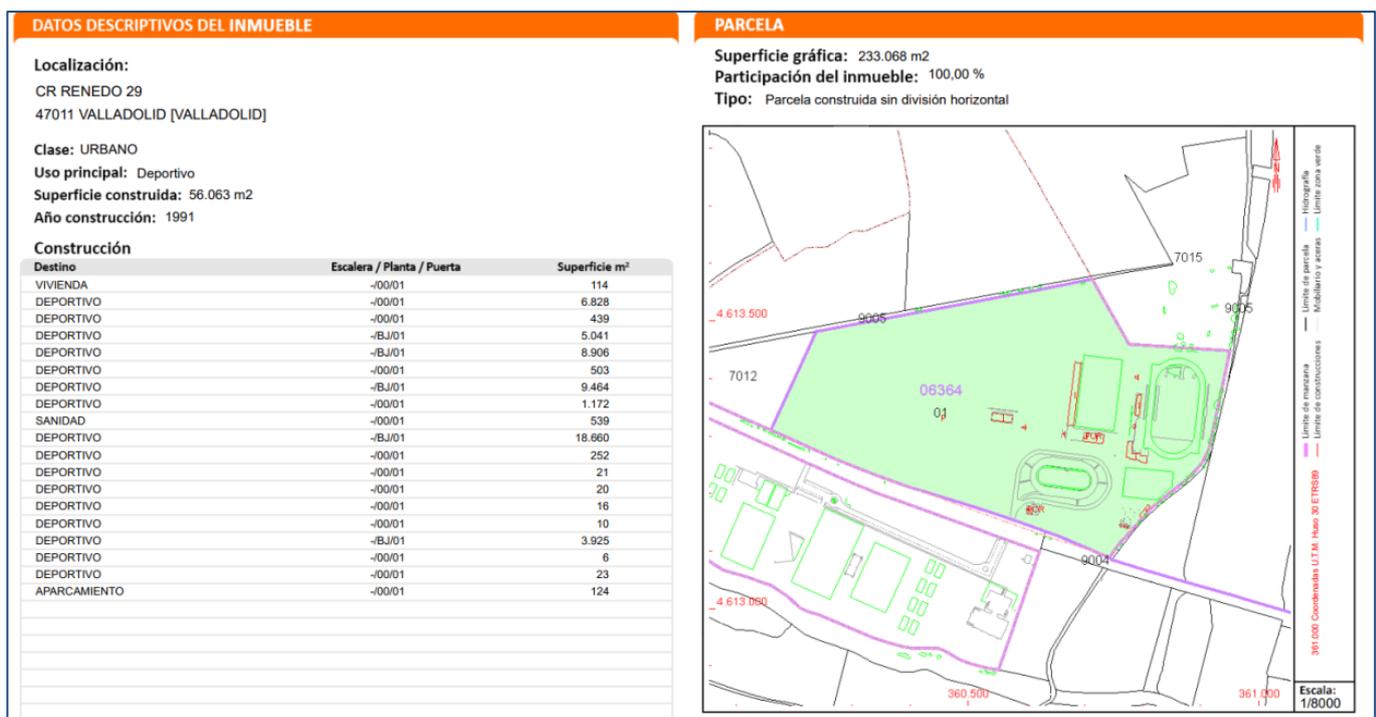


Imagen 8: datos descriptivos de la parcela (fuente: catastro [8])

El complejo deportivo cuenta con una superficie construida según catastro de 56.063 m² y de una superficie gráfica de 233.068 m², tal como se ve en la imagen 8 anterior.

Se encuentra compuesto por una serie de instalaciones, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

	SUPERFICIE (m²)
PARCELA	144.480
VELÓDROMO	12.000
CAMPO DE ATLETISMO	15.810
CAMPOS RUGBY	20.400
ZONA VERDE Y VESTUARIOS	3.750
INSTALACIÓN TIRO CON ARCO	5.684
APARCAMIENTO	85.500
VESTUARIOS Y ALREDEDORES	1.300
TOTAL	288.924

Tabla 1: desglose de superficie por instalaciones (fuente: FMD [9])

En cuanto a la localización de la parcela, esta se encuentra ubicada con los siguientes parámetros geográficos:

- Latitud: 41° 39' 33.5" NORTE
- Longitud: 4° 40' 34.1" OESTE
- Altitud: 698 metros

Las siguientes imágenes, 9 y 10, muestran la parcela catastral del complejo deportivo "Ciudad de Valladolid" y la vista aérea del mismo, en la cual se pueden distinguir claramente las diferentes instalaciones que lo componen desglosadas en la tabla 2.

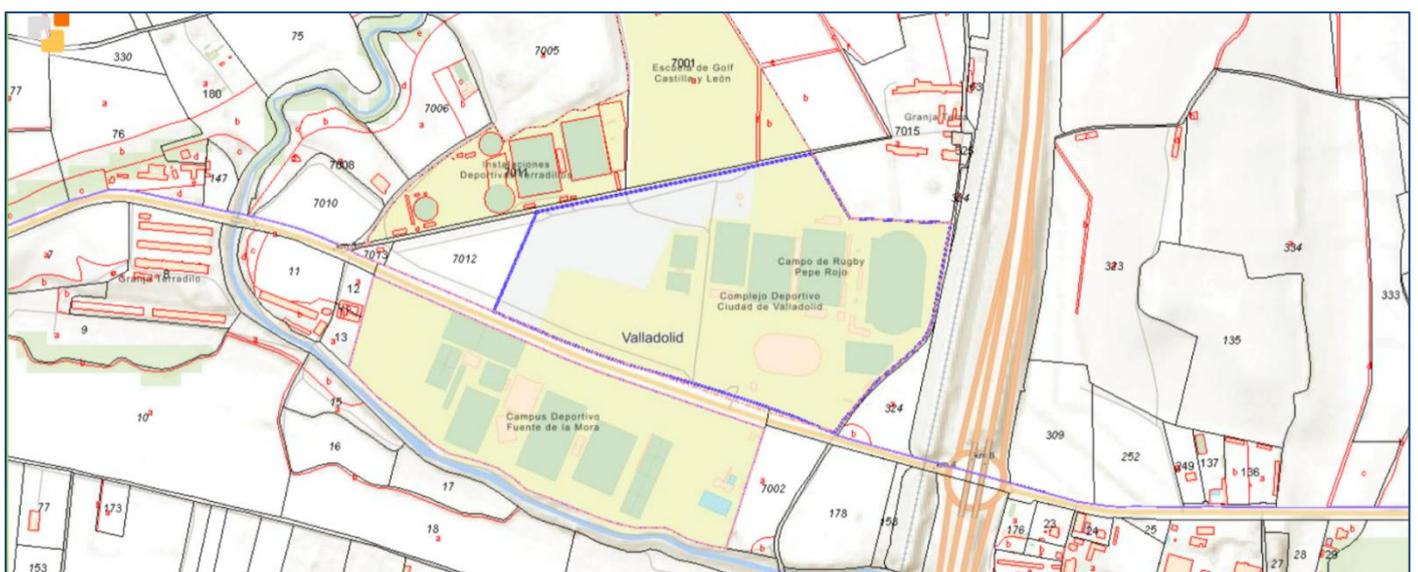


Imagen 9: plano parcela y colindantes (fuente: catastro [8])

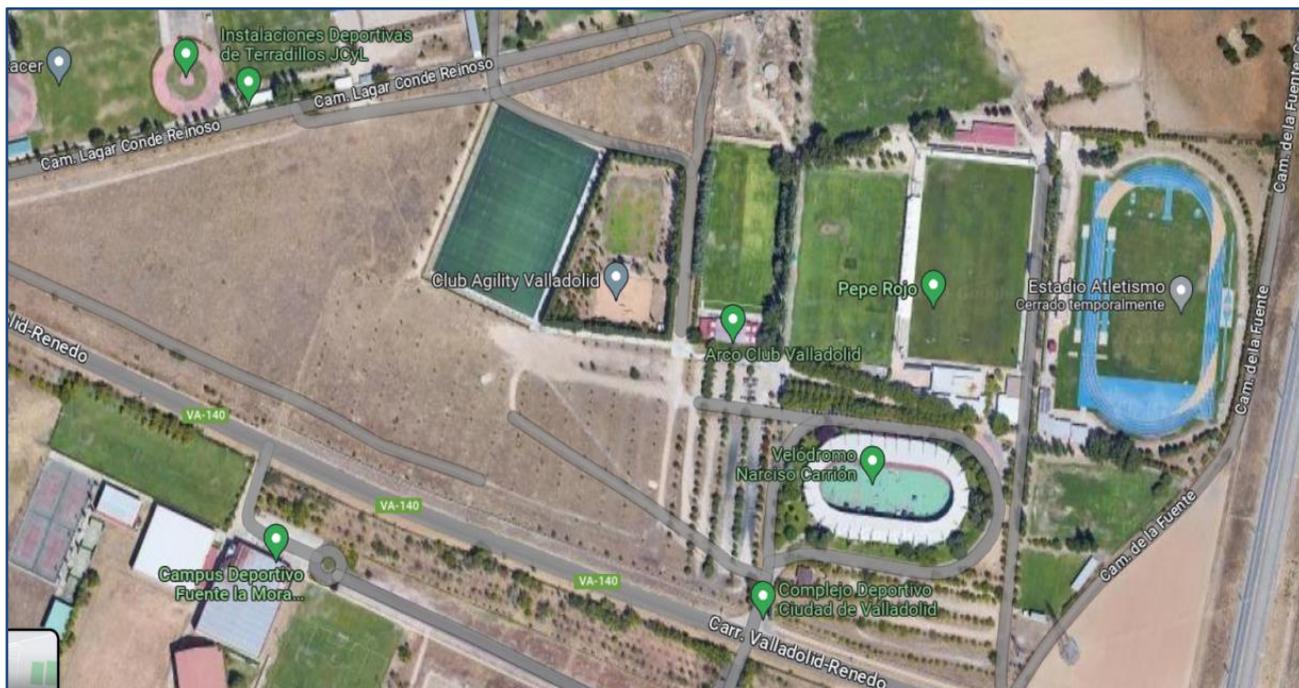


Imagen 10: foto satélite de la parcela (fuente: google maps)

3.4. Reglamentación vigente

A continuación, se nombra la normativa fundamental de aplicación en este proyecto técnico.

3.4.1. Legislación eléctrica aplicable

- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.



3.4.2. Legislación de seguridad e higiene aplicable

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 773/1997, 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo, por el que se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.



- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. • Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales.
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

3.4.3. Legislación medioambiental aplicable



- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

4. ESTUDIO

Este punto del proyecto incluye los diferentes estudios que se van a realizar del complejo deportivo “Ciudad de Valladolid”.

4.1. Estudio de consumos actuales

Antes de comenzar, es necesario estudiar los consumos actuales de las diferentes instalaciones del complejo, facilitados por la Fundación Municipal de Deportes (FMD), concretamente los consumos mensuales y diarios por horas de los años 2020, 2021 y 2022 completos.

La tabla 3 muestra los consumos en el año 2021. Se puede observar que el complejo Ciudad de Valladolid está dividido en 4 puntos de suministro (CUP) denominados: riego, rugby, velódromo y tiro con arco, asociados a las diferentes instalaciones del mismo.

MES \ CUP	RIEGO (KWh)	RUGBY (KWh)	VELODROMO (KWh)	TIRO CON ARCO (KWh)	MENSUAL (KWh)
ENERO	5.358	5.752	2.581	435	14.126
FEBRERO	4.073	5.584	2.754	985	13.396
MARZO	3.993	6.975	2.411	709	14.088
ABRIL	2.686	8.175	1.696	641	13.198
MAYO	2.165	8.557	1.421	444	12.587
JUNIO	1.714	7.994	927	297	10.932
JULIO	3.461	12.918	1.011	77	17.467
AGOSTO	2.362	0	1.055	328	3.745
SEPTIEMBRE	1.768	25.564	1.207	357	28.896
OCTUBRE	2.914	9.269	1.263	259	13.705
NOVIEMBRE	4.591	8.607	1.878	361	15.437
DICIEMBRE	4.262	7.079	2.113	474	13.928
TOTAL	39.347	106.474	20.317	5.367	171.505

Tabla 2: consumos mensuales en complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” (año 2021) (fuente FMD)

Según se aprecia en la tabla anterior el consumo anual en el año 2021 fue de **171.505 KWh**.

El gráfico siguiente refleja el consumo de energía eléctrica por horas de un día medio en el año.

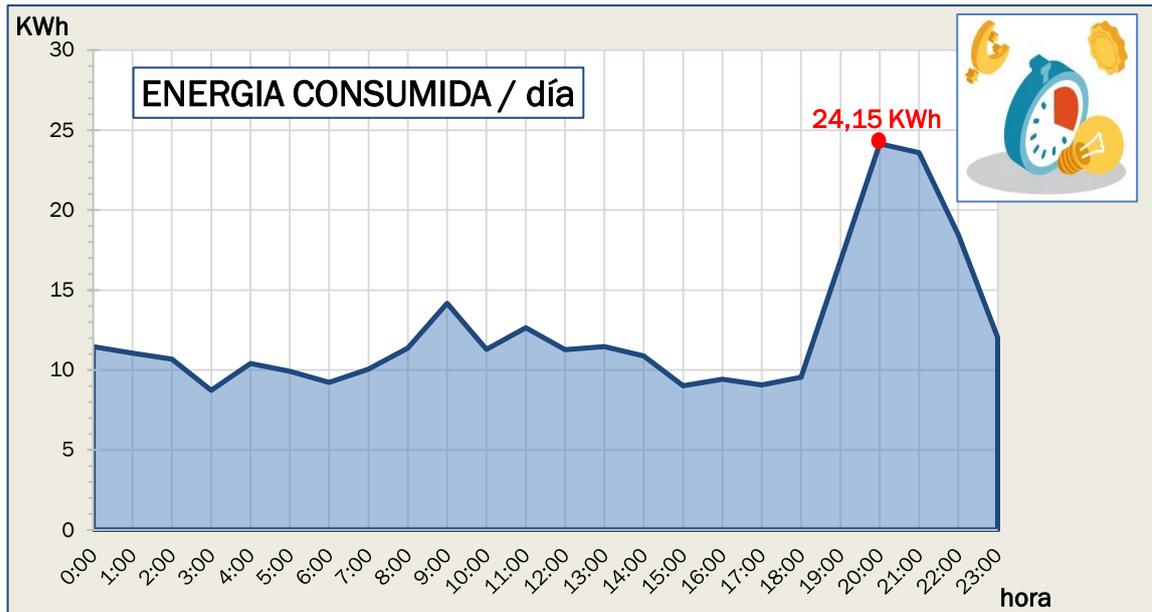


Gráfico 3: energía consumida en un día medio (KWh) en el complejo Ciudad de Valladolid (fuente: FMD)

Analizándolo, puede apreciarse que el complejo deportivo tiene unos consumos más o menos estables durante todo el día entorno a los 10 KWh debidos, en las horas de apertura de las instalaciones, al uso normal de las mismas y en las horas nocturnas sin actividad en el complejo, a que se aprovecha la tarifa reducida valle para el bombeo de agua desde un pozo a un depósito general del complejo, desde el que posteriormente se proporcionará agua a toda la instalación.

Así mismo se aprecia un pico de potencia entorno a las 8 de la tarde hasta casi los 25 KWh, valor que se debe al encendido de la instalación de iluminación del complejo deportivo.

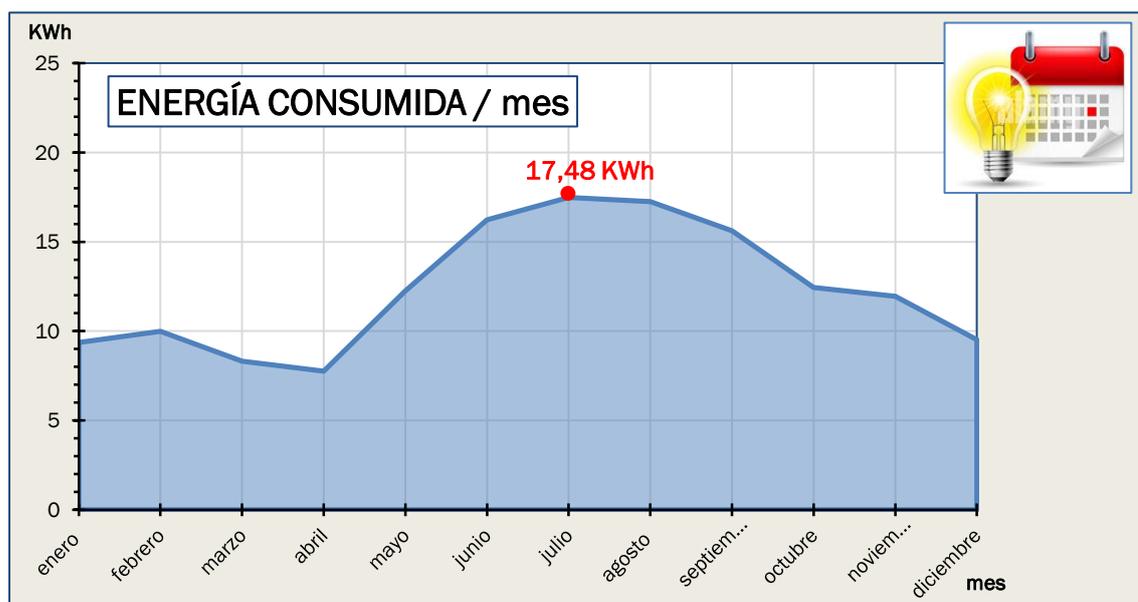


Gráfico 4: energía consumida por meses (KWh) en el complejo Ciudad de Valladolid (fuente: FMD)

El gráfico 4 refleja la variación del consumo medio en los diferentes meses del año. Se aprecia un incremento de mayo a octubre coincidiendo con los meses de riego del césped de los campos, con un pico en el mes de julio de 17,48 KWh.

Tras este análisis se puede concluir que son la iluminación y el riego de los campos los componentes de la instalación que más energía demandan.

4.2. Estudio energético

Durante el desarrollo de este punto se va a realizar un estudio solamente energético de la instalación del complejo.

Se va a utilizar el programa informático PVSyst, mediante el cual se simula el comportamiento de una instalación en unas condiciones fijadas.

Como se observa en el gráfico 2 anterior, el complejo deportivo tiene un consumo estable a lo largo de todo el día, observándose un pico de potencia en el momento en el que anochece y es necesario utilizar luz artificial en el complejo. Intentar cubrir esta demanda de energía con una instalación aislada supondría un gasto económico muy grande porque obligaría a poner un potencia de placas muy elevada, por lo que se descarta esta opción, eligiendo una instalación conectada a red y simulando la instalación con y sin almacenamiento para valorar en la situación en la que se obtienen mayores beneficios energéticos.

Para este estudio se van a definir una serie de variables, que se utilizarán para poder evaluar las diferencias entra cada una de las diferentes instalaciones y así poder tomar una decisión con respecto a que instalación es la mejor para el complejo deportivo.

Las variables con las que vamos a trabajar, utilizadas también por el programa PVSyst, son:

- E_{Avail} → energía fotovoltaica producida en la instalación
- E_{User} → energía consumida por el usuario
- E_{Grid} → energía excedente que es vertida en la red
- E_{FrGrid} → energía tomada de la red cuando la producida no es suficiente
- $E_{Solar} = E_{User} - E_{FrGrid}$ → energía consumida por el usuario de tipo fotovoltaico

Una vez definidas estas variables, se definen los parámetros que ayudarán a comparar los diferentes tipos de instalaciones:

- $PV\ FRAC$ (fracción fotovoltaica) = $\frac{E_{Avail}}{E_{User}}$ → este parámetro interpreta la energía fotovoltaica producida en función de las necesidades del usuario.

Este parámetro mide el porcentaje de energía fotovoltaica producida en relación con la energía necesitada por el usuario.

- $SOL\ FRAC$ (fracción solar) = $\frac{E_{solar}}{E_{User}}$ → este parámetro representa el porcentaje de energía consumida de origen solar respecto de las necesidades del usuario.
- $AUTOCONSUMO = \frac{Sol\ frac}{PV\ frac}$ → este parámetro relaciona los dos anteriores. Representa el porcentaje de energía solar que es producida por la instalación fotovoltaica.

Una vez definidos estos parámetros, se van a realizar simulaciones, mediante el programa PVSyst, de distintos escenarios variando la potencia de la instalación, para así observar cómo se comporta ésta frente a los consumos del complejo.

4.2.1. Autoconsumo sin baterías

Un autoconsumo sin baterías consiste en una instalación de placas fotovoltaicas conectadas a red, que permite verter a esta el exceso de energía producida en la instalación.

Una vez definido el tipo de instalación, se procede a simular distintos escenarios para poder compararlos y poder llegar así a una conclusión.

Debido a que el mayor pico en el consumo de la instalación actual se encuentra cerca de los 25 KWh se van a simular instalaciones de diferentes tamaños alrededor de esta potencia para poder compararlas entre sí:

KWp	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PV Frac	15,8%	33,6%	44,3%	58,2%	74,3%	89,7%	103,1%	118,2%	132,8%	149,4%
Sol Frac	14,9%	25,8%	29,3%	32,0%	34,2%	35,3%	36,1%	36,9%	37,3%	37,7%
Autoconsumo	94,6%	76,9%	66,1%	55,0%	46,1%	39,4%	35,0%	31,2%	28,1%	25,2%

Tabla 3: valores de los parámetros PV Frac, Sol Frac y Autoconsumo para diferentes potencias instaladas (calculados con programa PVSyst)

Como se observa tanto en la tabla 4 como en el gráfico 6, a medida que se aumenta la potencia de la instalación, los parámetros antes descritos se comportan de forma diferente.

- La fracción solar (Sol frac), tiene un crecimiento rápido al principio pero a medida que se acerca a la instalación de 100 KWp no sufre apenas cambio. Esto significa que a medida que se aumenta la instalación, se generará una mayor cantidad de energía solar, pero llegará un momento que toda esa energía se vierte a la red, sin ser consumida en el complejo.

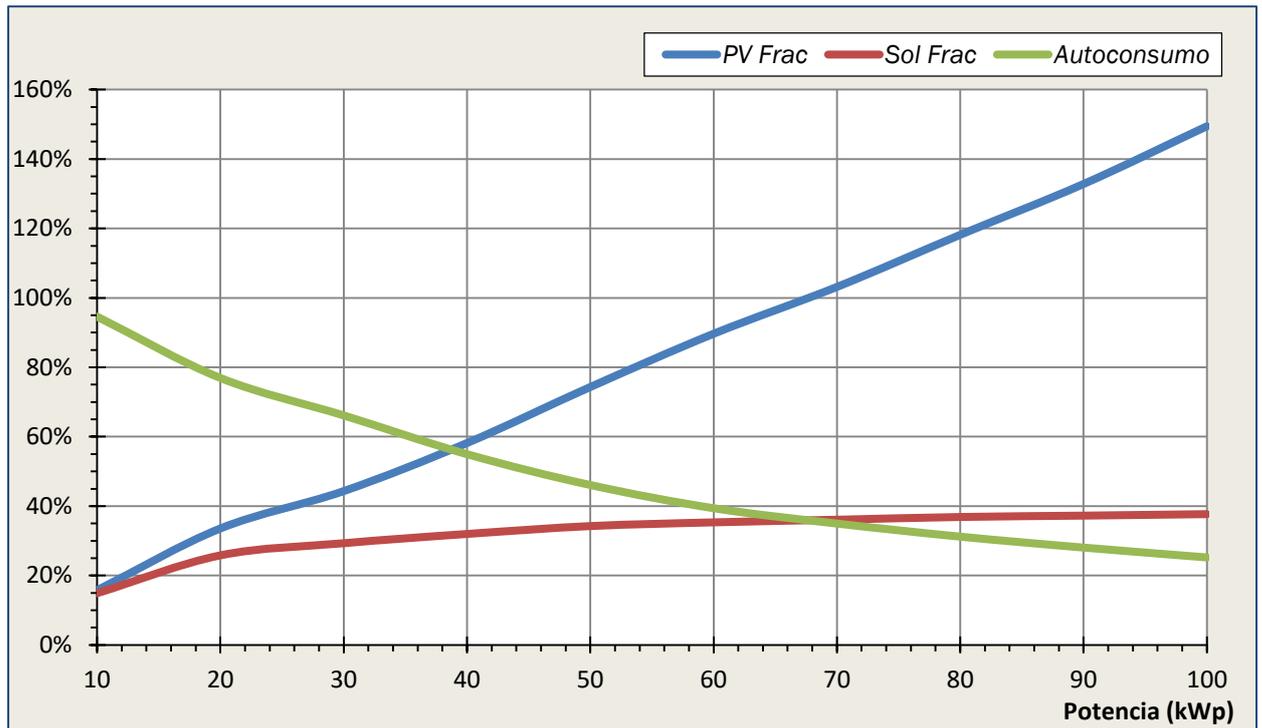


Gráfico 5: evolución de PV frac, Sol Frac y Autoconsumo en función de la potencia de la instalación . (calculados con programa PVsyst)

- Lo mismo pasa con la fracción fotovoltaica (PV frac), a medida que se aumenta la potencia en el gráfico, esta variable crece, lo que significa que cuanto más grande es la instalación, mayor cantidad de energía generada se obtendrá.
- Respecto al autoconsumo, fracción de energía generada consumida en el complejo, analizando el gráfico 4, se comprueba que disminuye según aumenta la potencia, dado que aumenta la parte de la energía producida que se vierte a la red.

Los siguientes gráficos (A, B y C) representan el cambio en los diferentes parámetros antes definidos en función de la potencia de la instalación; 20, 50 y 100 KWp, respectivamente.

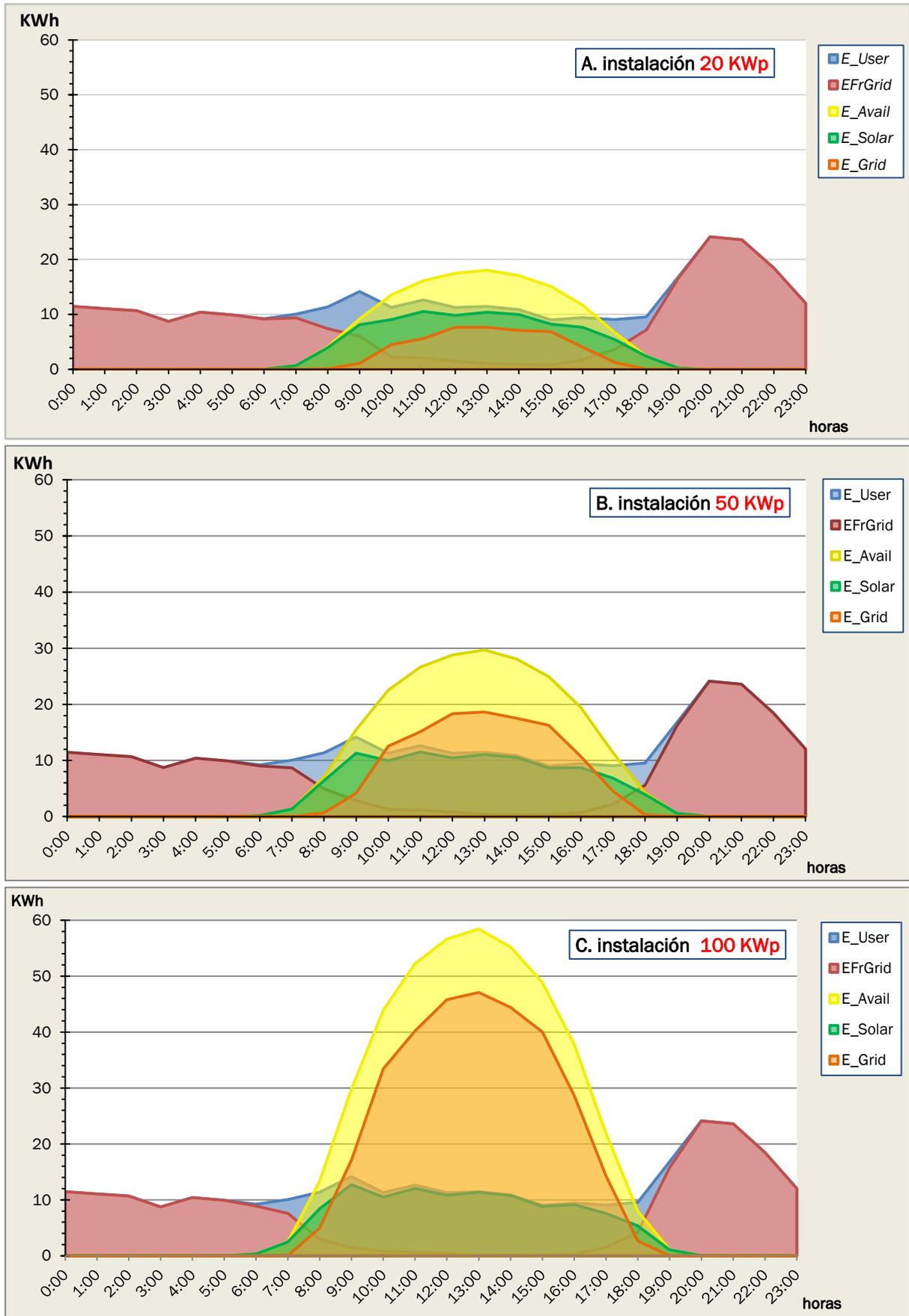


Gráfico 6: variación de las variables E_user, E_Grid, E_Avail, E_solar y E_Grid a lo largo de un día medio según potencia instalada (calculados con programa PVSystem).

El gráfico A representa una instalación de 20 KWp. Se puede observar que existe un excedente importante en las horas de mayor producción fotovoltaica (E_{Grid}), lo que implica que, la energía captada de la red (E_{FrGrid}) en esas horas centrales del día, sea prácticamente nula.

A medida que se incrementa la potencia instalada, a 50 y 100 KWp, gráficos B y C, se observa que aumenta el excedente de energía vertida a la red, mientras que el resto de parámetros no varían ante el aumento de la potencia instalada.

Cabe destacar el valor que toma la energía vertida en la red (E_{Grid}) en el gráfico C correspondiente con una instalación de 100 KWp, que es prácticamente la misma que la energía generada (E_{Avail}), lo que demuestra que está muy desaprovechada la instalación, hecho que corrobora lo confirmado lo observado para la variable *Sol frac* en el gráfico 4, en el que se veía que para una potencia de 100 KWp este parámetro se acerca al 40 %, es decir, casi un 60% de la energía solar producida no se consume en el complejo .

Por lo tanto, una conclusión a la que se puede llegar observando estos 3 gráficos es poder acotar la instalación en función del valor de los parámetros que se obtienen. Para ello se van a establecer las siguientes premisas:

- $Sol\ frac > 30\%$, es decir, que más del 30% de la energía consumida por el usuario sea de origen solar;
- $PV\ frac < 100\%$, porque un *PV frac* por encima del 100% significaría que la instalación está sobredimensionada, ya que se produce más energía de la necesitada por el usuario;
- $Autoconsumo > 50\%$, es decir, que se aproveche en el complejo más del 50% de la energía solar producida.

Por lo tanto, teniendo en cuenta estos criterios, en el gráfico 8 se han marcado las zonas que no cumplen con estos valores acotados.

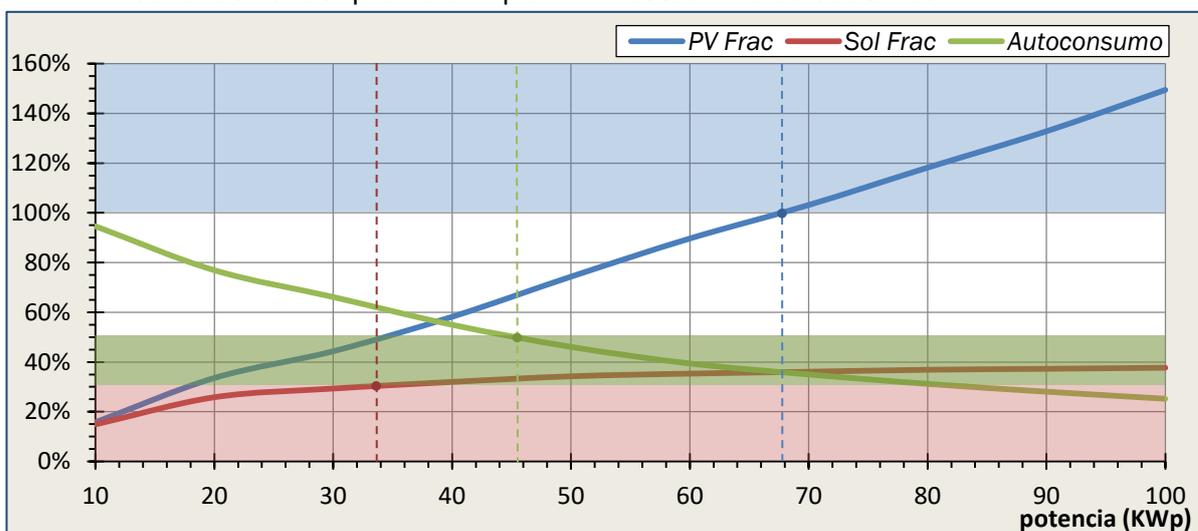


Gráfico 7: delimitación de los parámetros *PV frac*, *Sol Frac* y *Autoconsumo* en función de la potencia de la instalación para optimización de la instalación (calculados con programa PVSyst).

Así para el parámetro *Sol Frac*, la zona sombreada en rojo muestra que potencias inferiores a 32 KWp, no se alcanza la premisa fijada. Para potencias por encima se cumple que más del 30% de la energía consumida por el usuario va a ser de origen solar.

Del mismo modo, para el parámetro *PV Frac*, la zona sombreada en azul marca que con potencias superiores a 68 KWp la instalación estaría sobredimensionada ya que se producía más energía de la consumida por el complejo.

Y, por último, para el parámetro *Autoconsumo*, potencias por encima de 46 KWp dentro de la zona marcada en verde, indican que el complejo aprovecha menos del 50% de la energía solar producida

De esta forma, considerando los tres parámetros anteriores, la potencia de la instalación de autoconsumo ideal sin baterías para el complejo deportivo ciudad de Valladolid estaría entre 32 y 46 KWp, que se corresponde con la zona blanca del gráfico 7.

4.2.2. Autoconsumo con baterías

En el estudio anterior se ha podido comprobar cómo, al aumentar la potencia instalada, aumenta fuertemente *PV Frac*, pero solo ligeramente *Sol Frac*. Es decir, el aumento de la energía producida no repercute en un aumento del consumo de esta energía por parte del usuario, siendo consecuencia del perfil de consumo horario del complejo, con un consumo nocturno importante.

Una opción de mejora sería la introducción de baterías dentro de la instalación, que se recarguen con los excedentes de producción y que, sólo en el caso de demandar más energía de la disponible, se tome de la red.

Este tipo de instalación permitiría utilizar en las horas donde no existe producción fotovoltaica la energía almacenada producida en los paneles o incluso ser utilizada en el caso de que la instalación no tenga producción suficiente para subsanar la demanda de energía.

Dentro de este tipo de instalaciones, hay varias posibilidades, las cuales dependen tanto del tamaño de la instalación como de la cantidad de baterías instaladas.

Igual que en el apartado anterior y utilizando el programa PVsyst, se han desarrollado una serie de simulaciones variando el tamaño de la instalación y el sistema de almacenamiento, pudiendo así escoger la combinación más favorable para el consumo del complejo deportivo.

Para este estudio se utilizarán los mismos parámetros anteriormente definidos, tales como, *Sol frac*, *PV frac* y *Autoconsumo*.

Para comenzar, se va a representar la evolución de los diferentes parámetros en función del tamaño de la instalación y del sistema de almacenamiento.

En el caso del sistema de almacenamiento, durante el desarrollo del estudio, se va a hablar de valores desde 10 hasta 100, los cuales se corresponden a la cantidad de baterías que se ponen en paralelo en el sistema de almacenamiento, cuya equivalencia en KWh es:

BATERIAS EN PARALELO	KWh
0	0
10	38,9
20	77,7
30	117
40	155
50	194
60	233
70	272
80	311
90	350
100	389

Tabla 4: potencia de almacenamiento en KWh según el número de baterías instaladas

En los gráficos siguientes se observa la evolución de los parámetros *PV frac*, *Sol frac* y *Autoconsumo* a medida que aumenta el tamaño del sistema de almacenamiento.

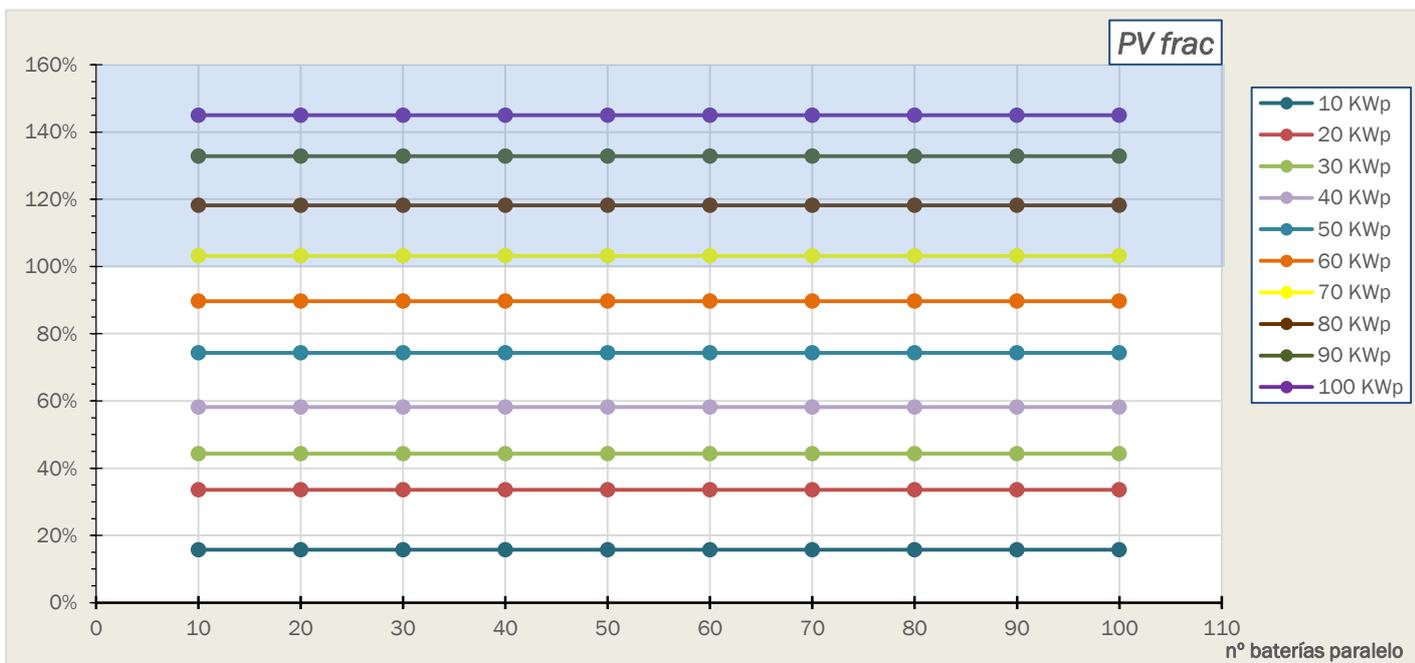


Gráfico 8: evolución de *PV frac* en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVsyst)..

En el gráfico anterior puede observarse que la producción fotovoltaica (*PV frac*) permanece constante a medida que se aumenta o disminuye el tamaño

de las baterías, lo que significa que es indiferente el sistema de almacenamiento. Este valor representa la producción de energía fotovoltaica de la instalación, el cual, solamente depende de la cantidad de paneles solares instalados y no del tamaño del sistema de almacenamiento.

El parámetro PV frac se va a acotar al valor 100 %, igual que en el estudio anterior, lo que significa el nivel en el que la instalación produce la energía demandada.

Analizando el gráfico 8 anterior vemos, que potencias de instalación por encima de 70 KWp llevan a valores de PV frac mayores del 100% (zona sombreada en azul), que, como se ha indicado anteriormente, significan que la instalación está sobredimensionada, produciendo más energía de la demandada.

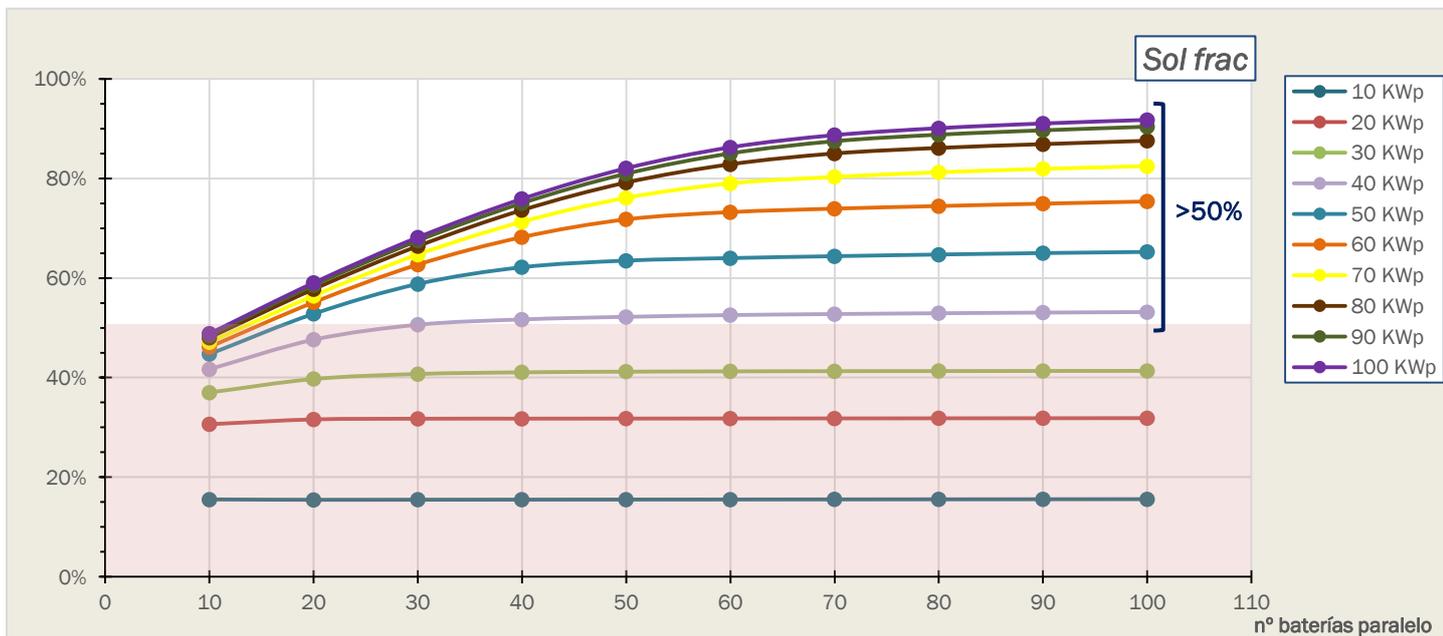


Gráfico 9: evolución de Sol frac en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVSyst).

Por el contrario, la fracción solar (*Sol frac*) y el autoconsumo evolucionan de forma creciente a medida que se aumenta el sistema de almacenamiento, como se observa en los gráficos 9 y 10.

En este caso los parámetros *Sol frac* y *Autoconsumo*, se van a acotar con los siguientes valores:

- *Sol frac* < 50 % (zona sombreada en rojo en gráfico 9), que no asegura que la mitad de energía consumida por el usuario es de origen solar.
- *Autoconsumo* < 70% (zona sombreada en verde en gráfico 10), que significa que se aprovecha menos de un 70% de la energía producida en la instalación, tanto para ser consumida directamente como para recargar las baterías del sistema de almacenamiento. Se busca un *Autoconsumo* lo más próximo al 100%.

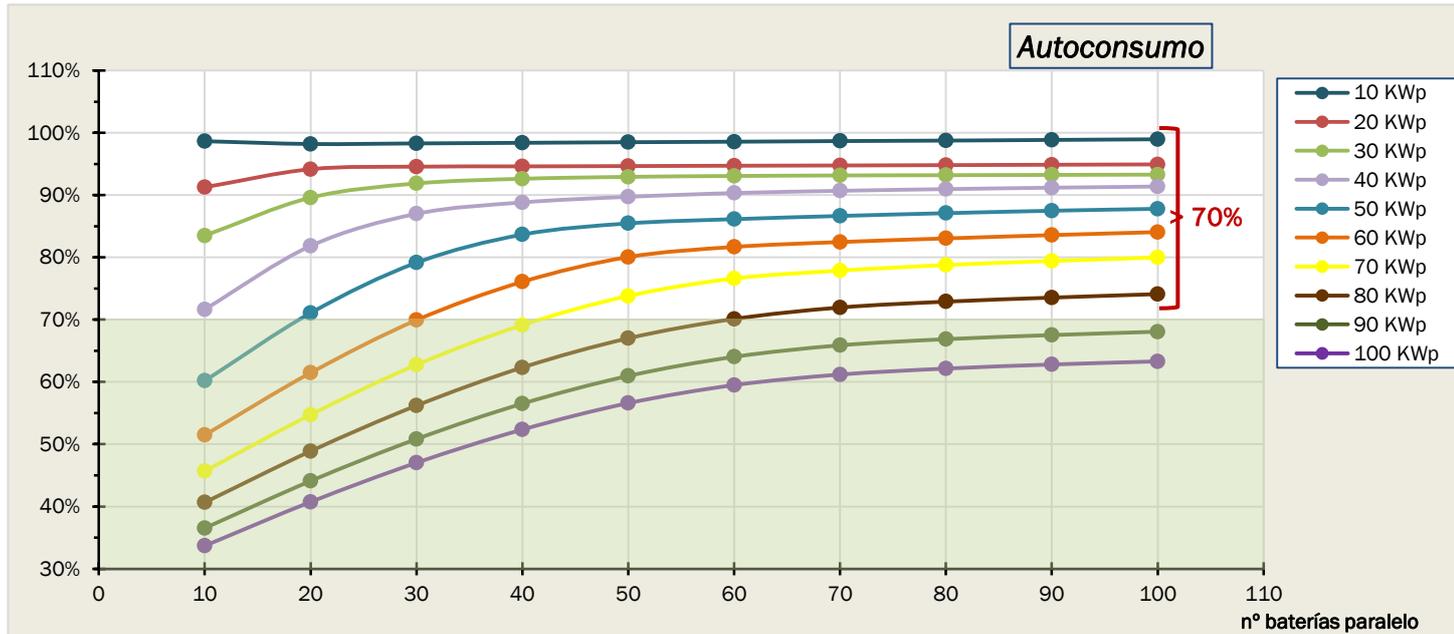


Gráfico 10: evolución de autoconsumo en función de la potencia de la instalación y del tamaño del almacenamiento (calculados con programa PVsyst).

De esta manera, tal como puede observarse en los gráficos 9 y 10, la potencia más favorable para instalar se sitúa entre 40 y 70 KWp, potencias dentro de las zonas sin sombrear ($Sol\ frac > 50\%$ y $Autoconsumo > 70\%$).

Por otra parte, respecto al tamaño del sistema de almacenamiento, se observa que las curvas se estabilizan a partir de una potencia de almacenamiento de alrededor de 40 y 50 baterías en paralelo, siendo, por tanto, estos valores los más favorables para el sistema de almacenamiento.

Teniendo en cuenta que los precios de los módulos solares son bastante menores que los del sistema de almacenamiento, se optará por la opción de menor tamaño del sistema de almacenamiento debido a su alto precio en comparación con el valor del precio de los módulos solares. Por lo tanto la decisión tomada en base a las horquillas obtenidas, será la de una instalación de 70 KWp (la opción mayor) y 40 baterías en paralelo del sistema de almacenamiento (la opción menor).

Una forma de poder comprobar la idoneidad de los valores seleccionados, elegir tanto de la potencia de la instalación como del tamaño del sistema de almacenamiento, es analizar la evolución de los diferentes parámetros según su variación. Para ello se van a ir representando diferentes gráficos desde el tamaño de almacenamiento más pequeño (10 baterías en paralelo), hasta el más grande (100 baterías en paralelo).

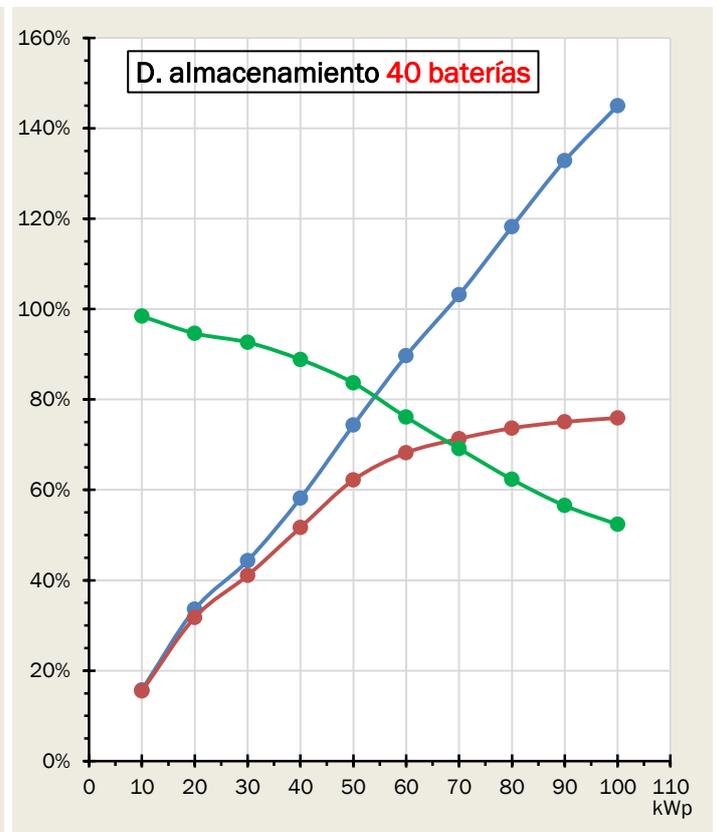
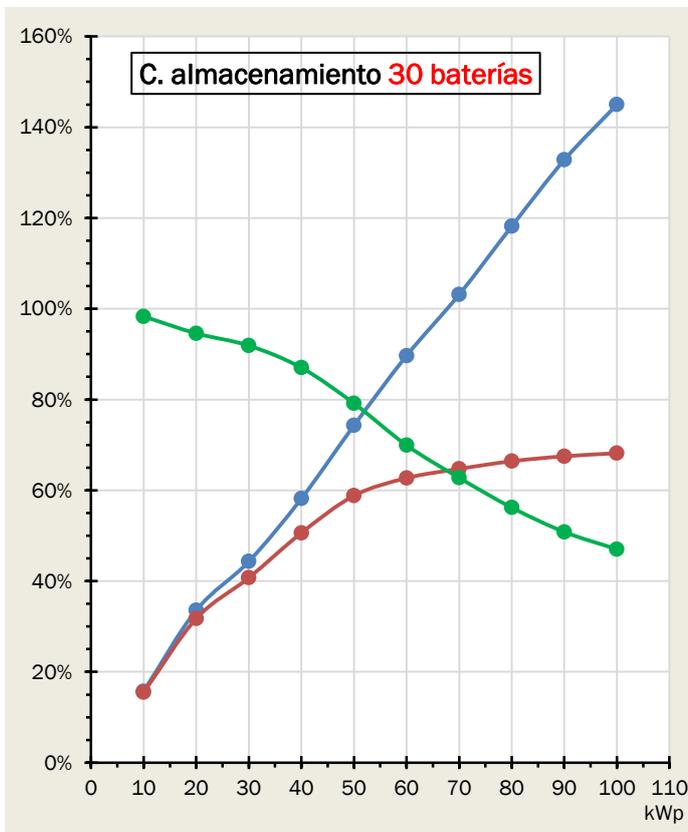
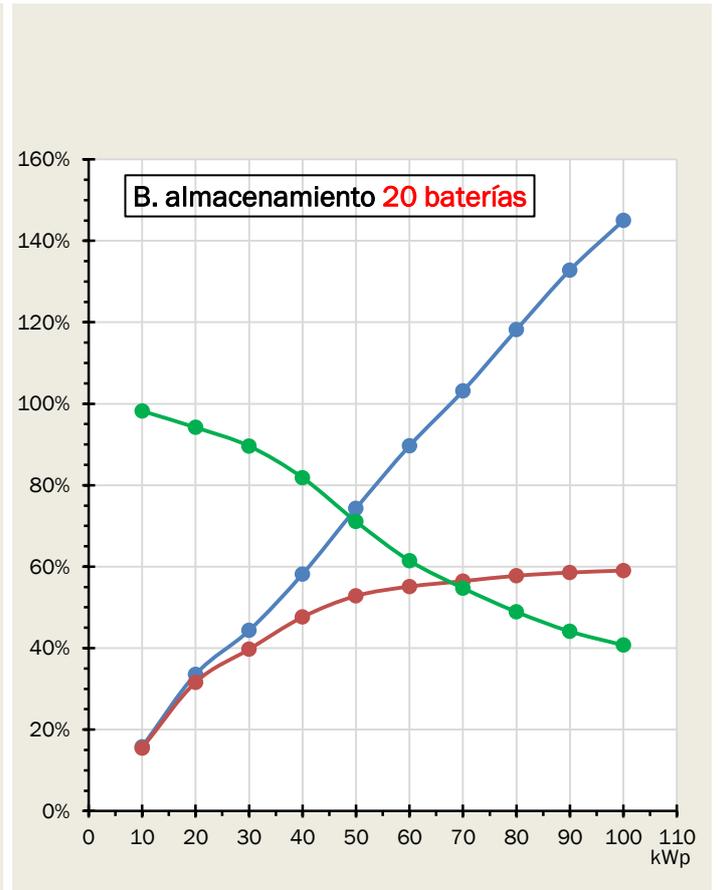
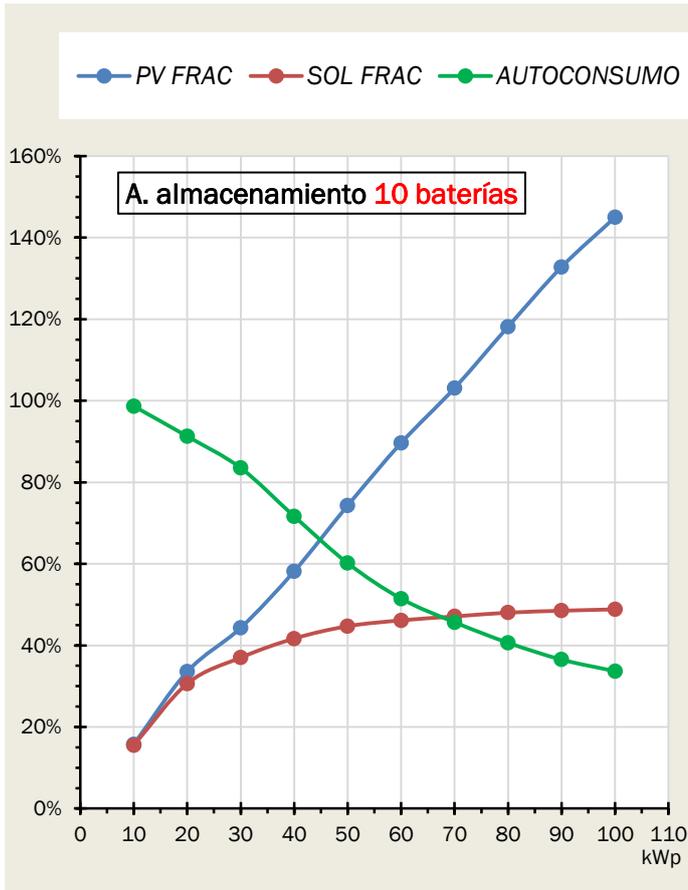


Gráfico 11 (A, B, C y D): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (10 a 40 baterías) (calculados con programa PVSyst).

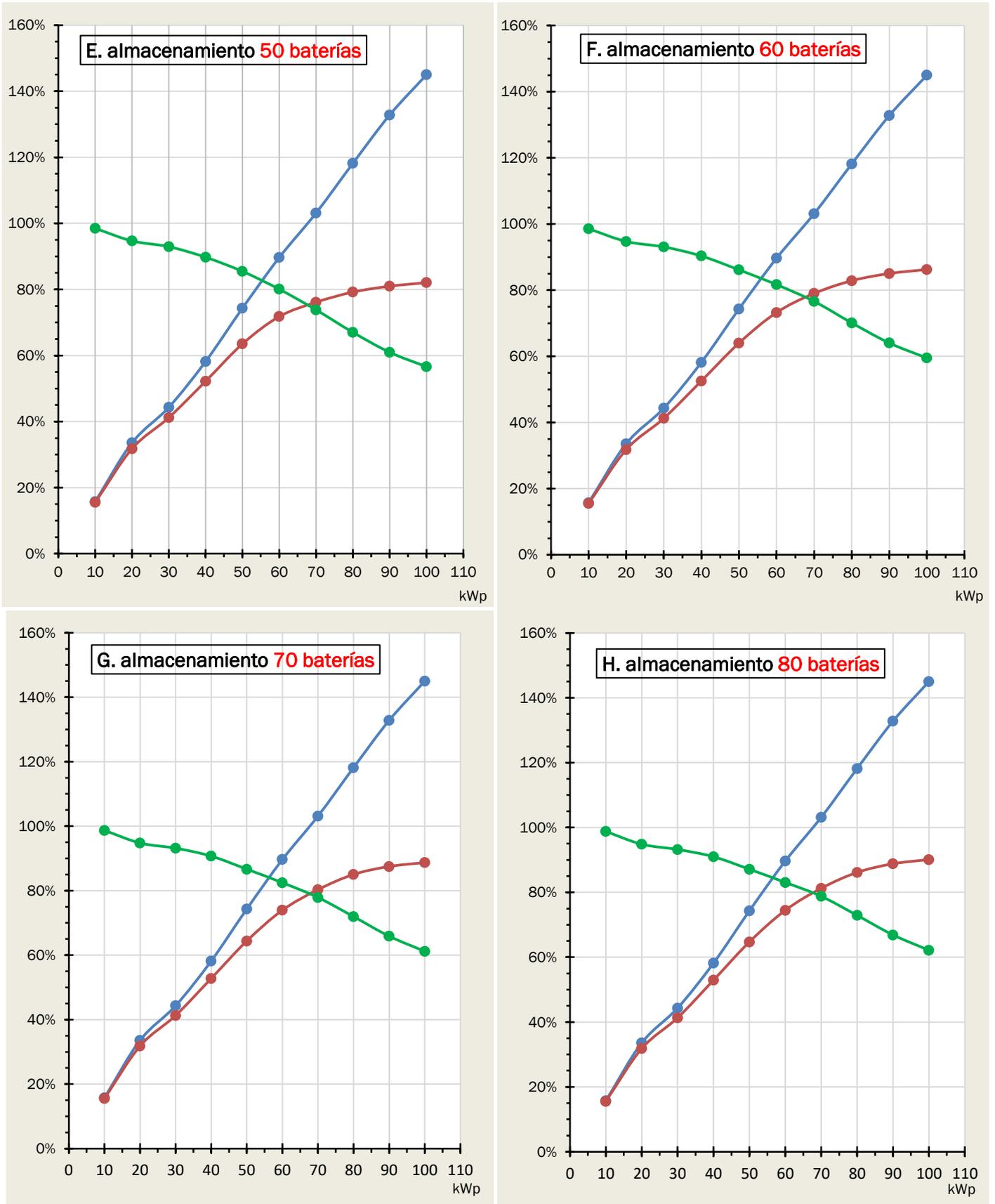


Gráfico 12 (E, F, G y H): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (50 a 80 baterías) (calculados con programa PVSyst).

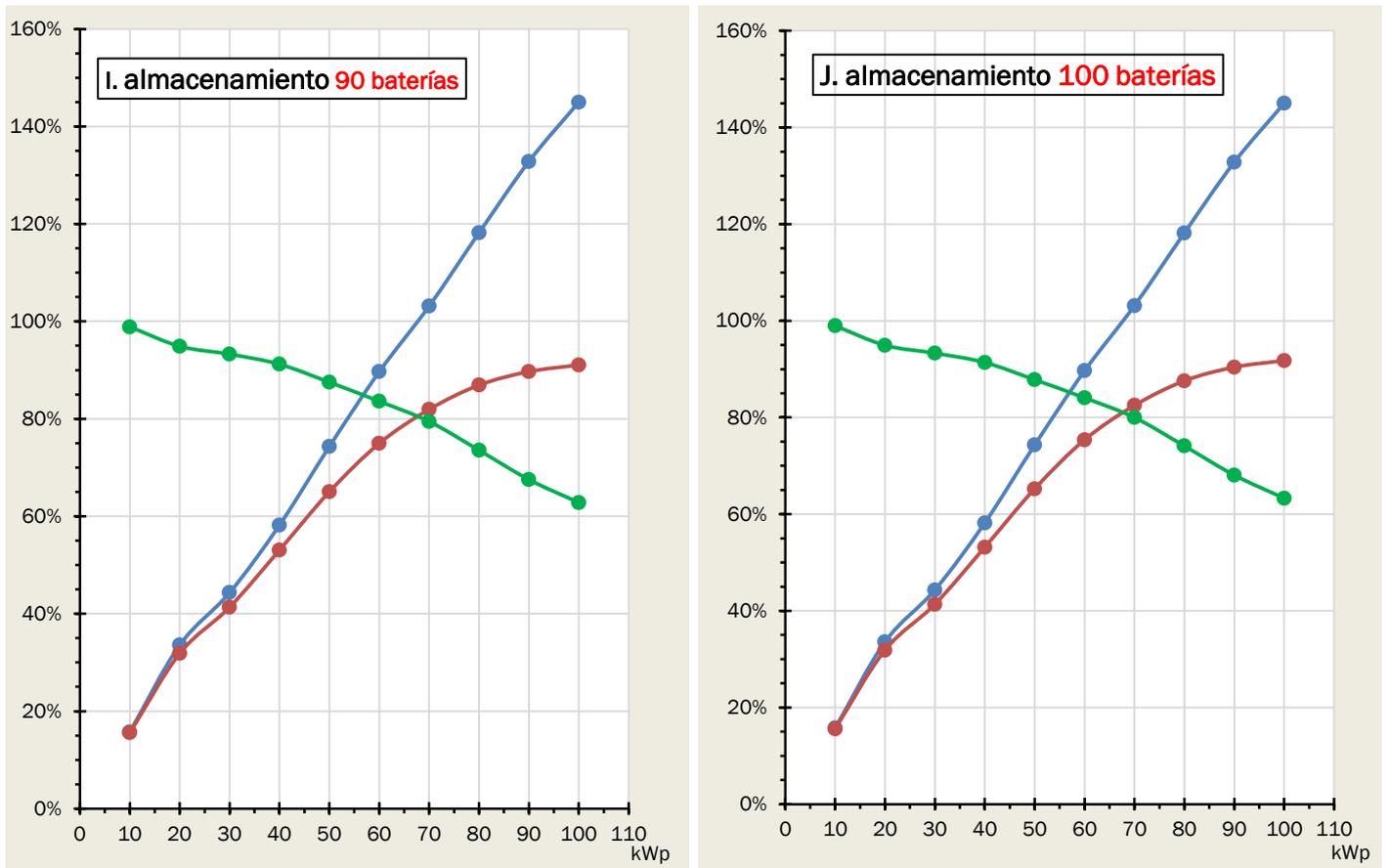


Gráfico 13 (I y J): evolución parámetros PVfrac, Solfrac y Autoconsumo para distintos tamaños de almacenamiento (50 a 80 baterías) (calculados con programa PVSystem).

Como hemos visto anteriormente, el valor de *PV frac* no varía con la instalación de diferentes sistemas de almacenamiento, ya que ni la generación de los paneles, ni el almacenamiento de las baterías influyen en este parámetro.

Sin embargo, los otros dos parámetros sí que varían tanto con el tamaño de la instalación como con el sistema de almacenamiento.

Se observa que a medida que se aumenta el tamaño del almacenamiento, el valor de *Sol frac*, aumenta progresivamente, lo que quiere decir, que según se colocan más baterías, mayor porcentaje de la energía consumida por el usuario es de origen solar, ya sea consumida directamente o almacenada para su consumo posterior.

Lo mismo ocurre con el *Autoconsumo*, a medida que se aumenta el sistema de almacenamiento, mayor es el aprovechamiento, es decir, mayor porcentaje de la energía producida en la instalación es consumida por el usuario. Así se observa en el gráfico 10, la variación de *Autoconsumo* para las diferentes potencias de instalación (de 10 kWp a 100 kWp) es menor según aumenta el sistema de almacenamiento debido a que la energía no consumida al instante es almacenada para su posterior utilización.

Por lo tanto, siguiendo los criterios anteriormente expuestos para acotar la instalación, se va a considerar como mejor opción el cruce de ambas gráficas, es decir, el cruce de la línea de *Sol frac* con la línea de *Autoconsumo*, al ser este punto de cruce, un punto donde se obtiene una *Sol-Frac* alta y un *Autoconsumo* elevado. Movernos a un lado u otro, se mejorará uno de los valores pero a costa del detrimento del otro.

Se puede observar que este punto en todas las gráficas se sitúa para una potencia de instalación de 70 KWp, por lo tanto, este será el valor óptimo elegido para la instalación. Solamente quedaría elegir el almacenamiento más favorable.

Teniendo en cuenta que con la instalación de unas baterías demasiado grandes supondría una gran inversión económica, el tamaño óptimo considerado sería de 40 baterías en paralelo (gráfico D) con el que *Sol frac* se situaría en un 71,30% y el *Autoconsumo* en un 69,14%, próximo al 70% marcado. Otros tamaños interesantes para el estudio serían 50 y 60 baterías en paralelo, pero en ningún caso mayor, ya que el valor de estos parámetros no se vería prácticamente modificado y lo único que se vería modificado sería el estudio económico.

En los gráficos 9 y 10 puede observarse que a partir de estos valores, las curvas se vuelven planas, lo que indica que un aumento en el almacenamiento no mejora apenas ni *Sol frac* ni *Autoconsumo*.

Con estos datos elegidos, a continuación, en el gráfico 14, se va a representar la evolución de las variables del estudio anterior, para observar cómo cambian con la colocación de baterías.

Como se puede observar en los siguientes gráficos, con el mismo tamaño de potencia fotovoltaica instalada, al variar el tamaño del sistema de almacenamiento, se varía la cantidad de energía tomada de la red y la vertida a la misma.

El valor de *EFrGrid*, variable que representa la cantidad de energía tomada de la red, ya hemos comprobado anteriormente que durante las horas de máxima producción fotovoltaica se vuelve nulo. Y además, este valor también disminuye en las horas en las que no hay producción fotovoltaica con la instalación de baterías de almacenamiento, proporcionalmente a la potencia de las mismas, dado que la el complejo capta energía de estas baterías en vez de la red.

Como se observa en los gráficos B y J, que representan los tamaños de almacenamiento pequeño (20 baterías en paralelo) y grande (100 baterías en paralelo), el valor de *EFrGrid* disminuye considerablemente al aumentar el sistema de almacenamiento, teniendo que captar muy poca energía de la red para la demanda del usuario.

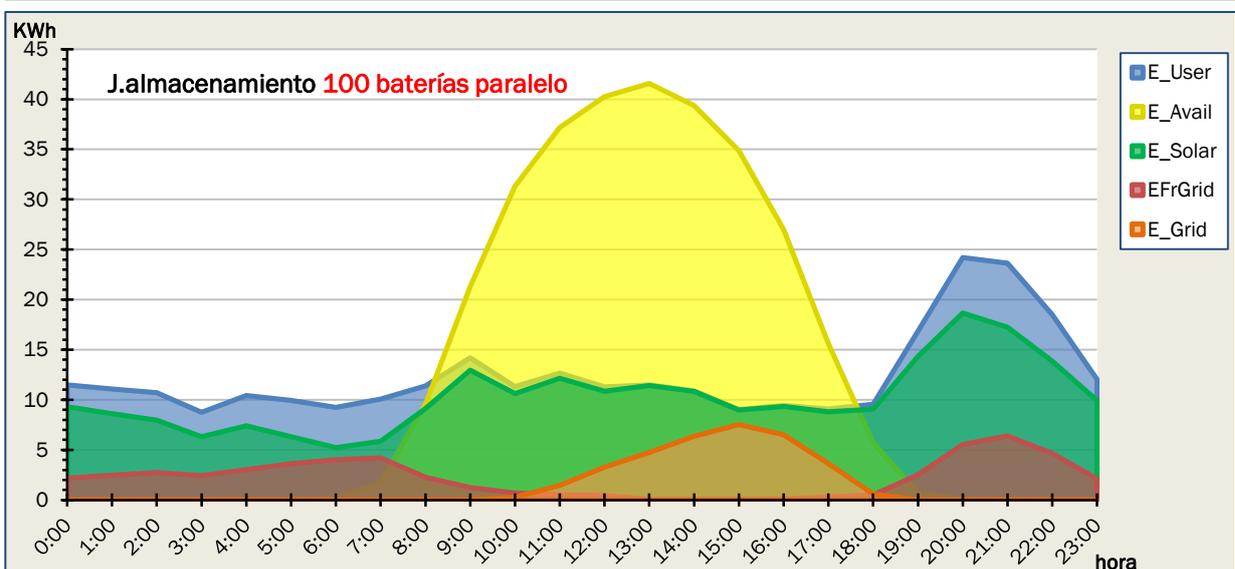
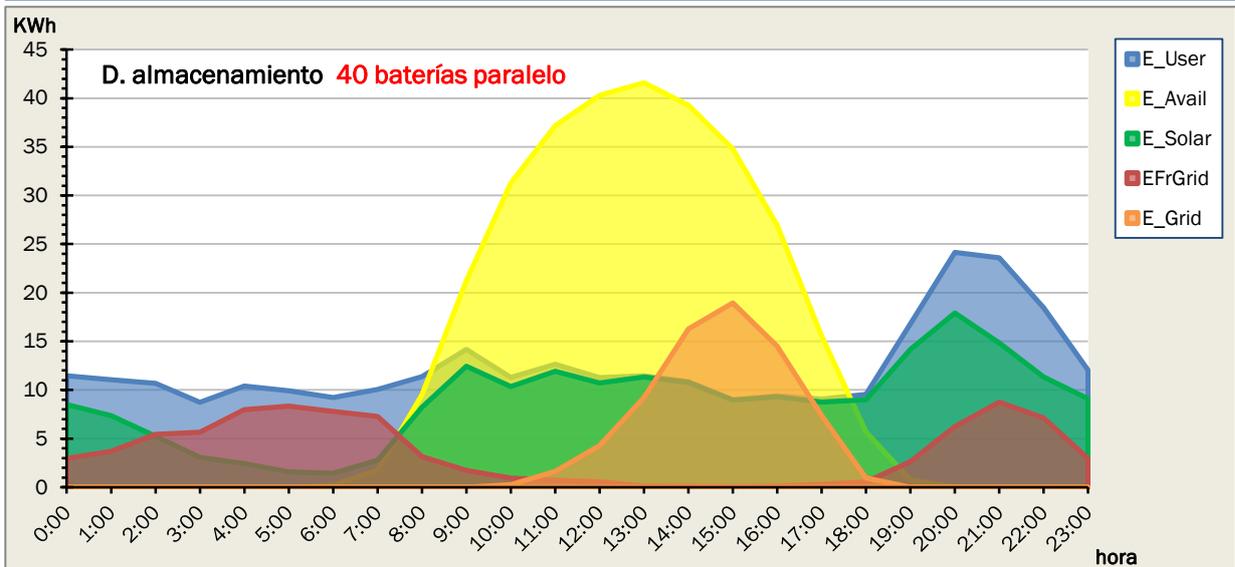
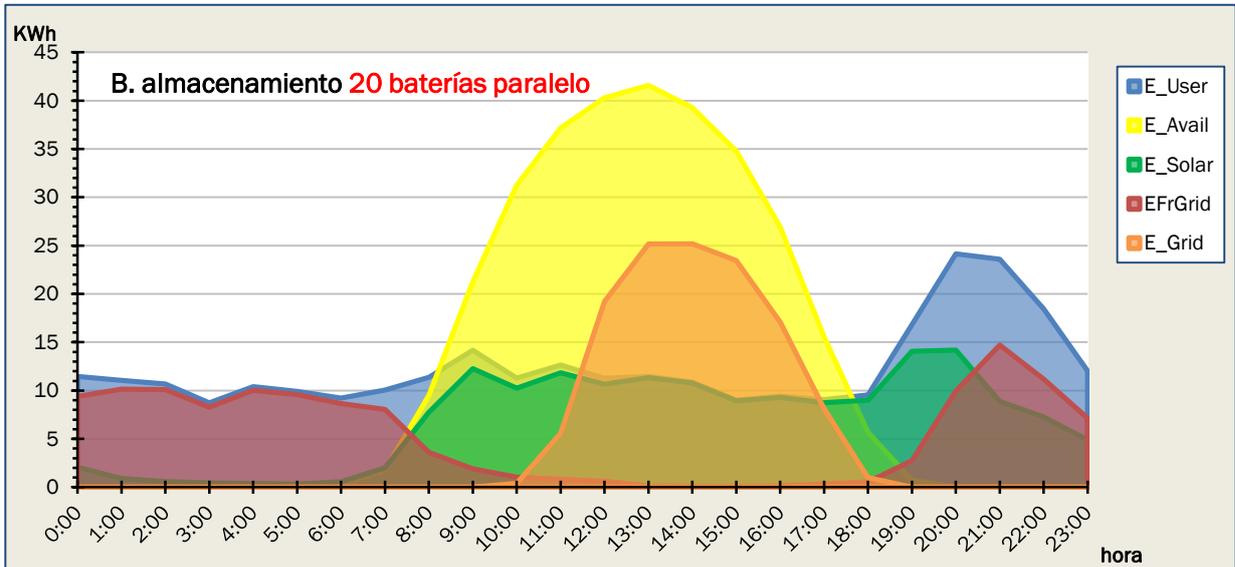


Gráfico 14 (B, D y J): Variación de variables para potencia instalada de 70 KWp y diferentes tamaños de almacenamiento (20, 40 y 100 baterías en paralelo) (calculados con programa PVsyst).

En la siguiente tabla se puede observar la diferencia en los valores totales de las diferentes variables con el diferente tamaño de la instalación (valores en KWh).

ALMACENAMIENTO	POTENCIA INSTALADA	E_Grid (KWh)	E_Avail (KWh)	E_FrGrid (KWh)	E_User (KWh)	E_Solar (KWh)
Sin baterías	20KWp	16.774	48.386	76.680	108.291	31.612
	50KWp	43.394	80.477	71.208	108.291	37.084
	70KWp	72.608	111.702	69.220	108.291	39.071
	100KWp	121.015	161.829	67.478	108.291	40.814
40 batería en paralelo	20KWp	0	36.345	73.901	108.291	34.390
	50KWp	6.797	80.477	40.967	108.291	67.330
	70KWp	26.803	111.680	31.078	108.291	77.213
	100KWp	66.478	157.018	26.094	108.291	82.202

Tabla 5: variación de variables con distintas potencias de instalación de placas y de baterías (calculados con programa PVsyst).

Como se observa en la tabla anterior con la instalación de baterías, se reduce notablemente la energía captada de la red (columna *E_FrGrid*), además de aumentar la cantidad de energía utilizada de origen solar, como se muestra en la columna de *E_solar*.

También se observa que la energía vertida a la red (columna *E_Grid*), disminuye con la instalación de baterías en el sistema.

4.3. Estudio económico

A lo largo de este estudio se va a hacer un análisis económico para terminar de aclarar la decisión tomada en el análisis energético de la instalación fotovoltaica.

Primeramente explicar que el complejo deportivo ciudad de Valladolid tiene un contrato con la compañía suministradora cuya tarifa es la 3.0 TD actualmente.

Esta tarifa tiene las siguientes características:

- Consta de 6 periodos o términos de potencia contratada y 6 términos de energía;
- La potencia contratada es superior a 15 KW en alguno de los 6 periodos horarios;
- La tensión de suministro es inferior a 1 KW;
- Las potencias contratadas en los diferentes periodos serán tales que la potencia contratada en un periodo P_{n+1} sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el periodo anterior P_n .

La Tarifa 3.0 TD tiene una discriminación horaria de seis periodos horarios (P1 a P6) en función de la temporada, el día de la semana y la hora del día, tanto en potencia como en energía.

El autoconsumo en este tipo de tarifas repercute directamente en la factura y es imposible obtener el precio al cual se paga la energía, solamente se puede acceder a las facturas proporcionadas por la FMD, pero sería imposible ver las mejoras económicas que produce la instalación. Por lo tanto, para el estudio económico de esta instalación se va a suponer que se encuentra bajo una tarifa 2.0 TD, de la cual sí que se pueden obtener valores del precio tanto de la energía por horas como de los excedentes.

Los datos se han obtenido de la página de Red Eléctrica de España (REE), la cual se encarga de publicar los datos de precios de la energía en cada momento del día.

Se utilizarán solamente el precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC). Mediante estos datos se podrá calcular el precio que se paga por la energía, pero no se contemplan los peajes de acceso ni los impuestos que se ven reflejados en las facturas.

En la siguiente tabla 7, se muestra, por una parte, los valores anuales de energía (en KWh) tomada de la red y vertida a la misma para diferentes opciones de instalación (en el caso del sistema de almacenamiento, se ha tenido en cuenta el valor óptimo del análisis energético), y la energía total anual que consume el complejo deportivo.

POTENCIA INSTALADA	ALMACENAMIENTO	E_Grid (KWh) (excedente)	EFrGrid (KWh) (captada de red)	E_User (KWh) (consumo real)
10	sin almacenamiento	923	92.139	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	0	91.518	108.291
20	sin almacenamiento	8.390	80.337	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	0	73.901	108.291
30	sin almacenamiento	16.258	76.550	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	267	63.828	108.291
40	sin almacenamiento	28.376	73.663	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	2.237	52.321	108.291
50	sin almacenamiento	43.394	71.208	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	6.797	40.967	108.291
60	sin almacenamiento	58.844	70.039	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	16.021	34.420	108.291
70	sin almacenamiento	72.631	69.220	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	26.803	31.078	108.291
80	sin almacenamiento	88.043	68.364	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	40.255	28.540	108.291
90	sin almacenamiento	103.470	67.941	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	54.333	27.019	108.291
100	sin almacenamiento	121.015	67.478	108.291
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	66.478	26.094	108.291

Tabla 6: valores anuales de las variables E_Grid, EFrGrid y E_User para diferentes potencias de instalación sin almacenamiento y con 40 baterías de almacenamiento en paralelo (calculados con programa PVSyst).

A continuación se representan los valores anteriores en 2 gráficos con la evolución del sistema gracias a la instalación.

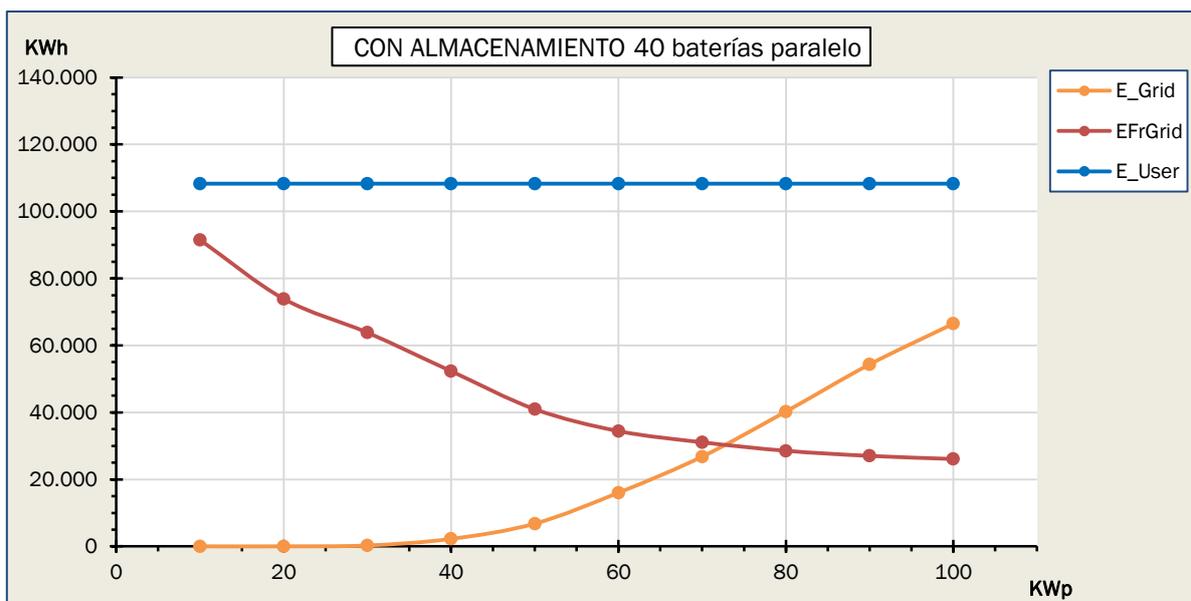
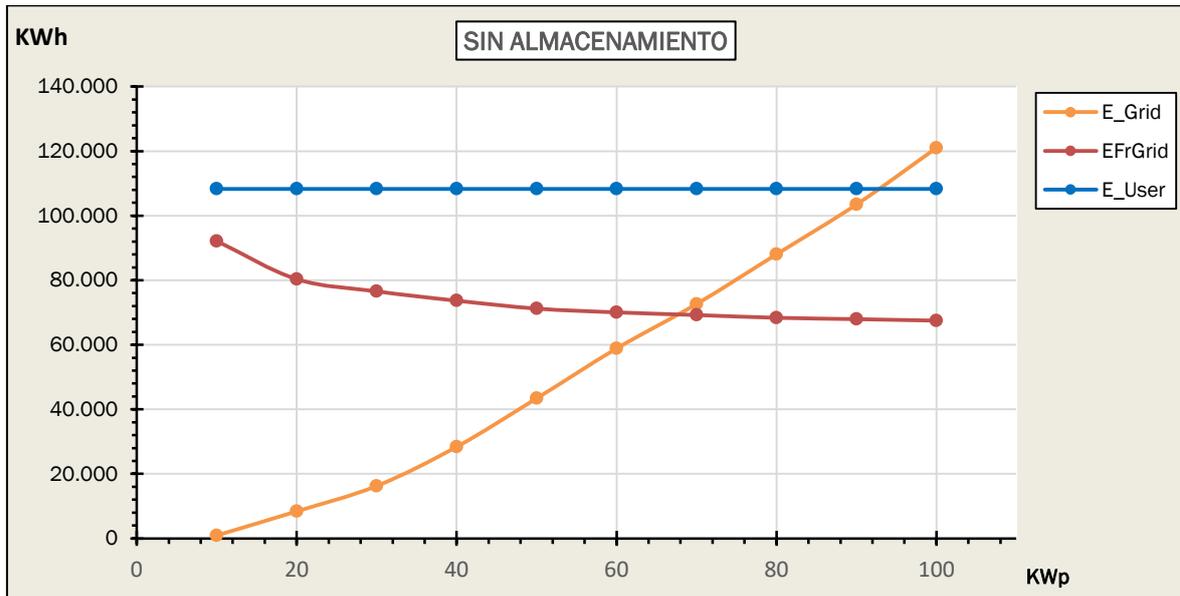


Gráfico 15: evolución de las variables anuales E_{Grid} , E_{FrGrid} y E_{User} para diferentes potencias de instalación sin almacenamiento y con 40 baterías en paralelo de almacenamiento (calculados con programa PV Syst).

En primer lugar, se observa que el consumo del complejo (E_{User}) no varía con la instalación.

En lo que se refiere a los valores de energía captada de la red (E_{FrGrid}), puede observarse el cambio que existe con la instalación de baterías en la instalación. Sin sistema de almacenamiento, la energía captada de la red sigue una trayectoria que decrece, es decir, no influye apenas la potencia instalada, ya que el consumo en las horas de no producción siempre es el mismo. Sin embargo, este valor cambia totalmente con la instalación de un

sistema de almacenamiento, bajando considerablemente con la instalación de baterías, favoreciendo el consumo de energía fotovoltaica en las horas de no producción.

Por otra parte, el valor de la energía cedida o vertida a la red, E_{Grid} , también sufre un cambio considerable con la instalación del sistema de almacenamiento. Con este sistema disminuye notablemente la energía cedida a la red, lo que significa que se está aprovechando de mejor manera la energía producida en la instalación. (Red Eléctrica de España (REE))

En cuanto al tema económico, en la siguiente tabla 8 se muestran los valores que se obtienen de ahorro anual en la factura eléctrica con la instalación del sistema fotovoltaico y del sistema de almacenamiento a mayores.

POTENCIA INSTALADA (KWp)	ALMACENAMIENTO	Ingresos por excedentes vertidos a red ¹ (a)	Coste energía captada de red (b)	Factura consumo energía SIN instalación fotovoltaica (c)	Factura consumo energía CON instalación fotovoltaica (d=b-a)	AHORRO BRUTO (e=c-d)	% (e/c)
10	sin almacenamiento	157 €	28.658 €	33.065 €	28.501 €	4.564 €	-13,80%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	0 €	28.462 €	33.065 €	28.462 €	4.603 €	-13,92%
20	sin almacenamiento	1.336 €	25.336 €	33.065 €	23.999 €	9.065 €	-27,42%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	0 €	23.203 €	33.065 €	23.203 €	9.862 €	-29,83%
30	sin almacenamiento	2.532 €	24.229 €	33.065 €	21.698 €	11.367 €	-34,38%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	41 €	19.972 €	33.065 €	19.931 €	13.134 €	-39,72%
40	sin almacenamiento	4.358 €	23.365 €	33.065 €	19.007 €	14.058 €	-42,52%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	382 €	16.183 €	33.065 €	15.801 €	17.264 €	-52,21%
50	sin almacenamiento	6.622 €	22.611 €	33.065 €	15.989 €	17.076 €	-51,64%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	1.084 €	12.465 €	33.065 €	11.381 €	21.684 €	-65,58%
60	sin almacenamiento	8.796 €	22.252 €	33.065 €	13.456 €	19.609 €	-59,30%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	1.915 €	10.330 €	33.065 €	8.415 €	24.650 €	-74,55%
70	sin almacenamiento	10.371 €	22.000 €	33.065 €	11.629 €	21.436 €	-64,83%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	2.754 €	9.279 €	33.065 €	6.525 €	26.540 €	-80,27%
80	sin almacenamiento	11.877 €	21.738 €	33.065 €	9.861 €	23.204 €	-70,18%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	3.805 €	8.486 €	33.065 €	4.681 €	28.384 €	-85,84%
90	sin almacenamiento	13.298 €	21.608 €	33.065 €	8.310 €	24.755 €	-74,87%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	4.707 €	8.005 €	33.065 €	3.297 €	29.768 €	-90,03%
100	sin almacenamiento	14.933 €	21.464 €	33.065 €	6.531 €	26.534 €	-80,25%
	con almacenamiento (40 baterías en paralelo)	5.379 €	7.700 €	33.065 €	2.321 €	30.744 €	-92,98%

Tabla 7: estimación económica del ahorro para las diferentes opciones de instalación fotovoltaica (Fuente: tarifas horarias año 2022 REE).

¹ Para el cálculo de los ingresos por excedentes se ha tenido en cuenta el cómputo mensual para la compensación descartando el exceso sobre el coste de energía, dado que la factura mensual nunca puede ser negativa. Es decir, sólo se han considerado los excedentes compensados.



Estos datos se han obtenido aplicando a los valores de energía de la tabla 4, el precio por hora y día en el año 2022 utilizado para el estudio.

Se ha estimado el importe de la factura por consumo de energía sin instalación fotovoltaica como la diferencia entre el coste por la energía captada de la red (columna b) y los ingresos por compensación de excedentes vertidos a la red (columna a), para las diferentes opciones de instalación fotovoltaica.

Los valores de este ahorro sin tener en cuenta, por ahora, el coste de la instalación (ahorro bruto), se han calculado como la diferencia entre el importe de la factura por consumo de energía sin instalación fotovoltaica (columna c), constante en toda la tabla e igual a 33.065 euros y el importe estimado con las diferentes opciones de instalación fotovoltaica (columna d). En la última columna se ha incluido el porcentaje que este importe ahorrado supone sobre el importe sin instalación fotovoltaica,

En primer lugar, teniendo en cuenta el beneficio que se obtiene con la instalación del sistema fotovoltaico, se observa que a medida que se aumenta la potencia de la instalación se reduce el importe por la energía comprada a la red y además aumenta el de los excedentes.

Sin embargo, desde el punto de vista económico, sería mejor no producir tantos excedentes y sí reducir la energía tomada de la red, debido a la diferencia de precio de la venta de excedentes y la compra de energía.

Por ello, mediante la instalación de un sistema de almacenamiento, se reduciría el vertido de excedentes a la red y también la compra de energía.

Esta observación se puede ver representada en los siguientes gráficos, que recogen los datos mostrados en la tabla anterior.

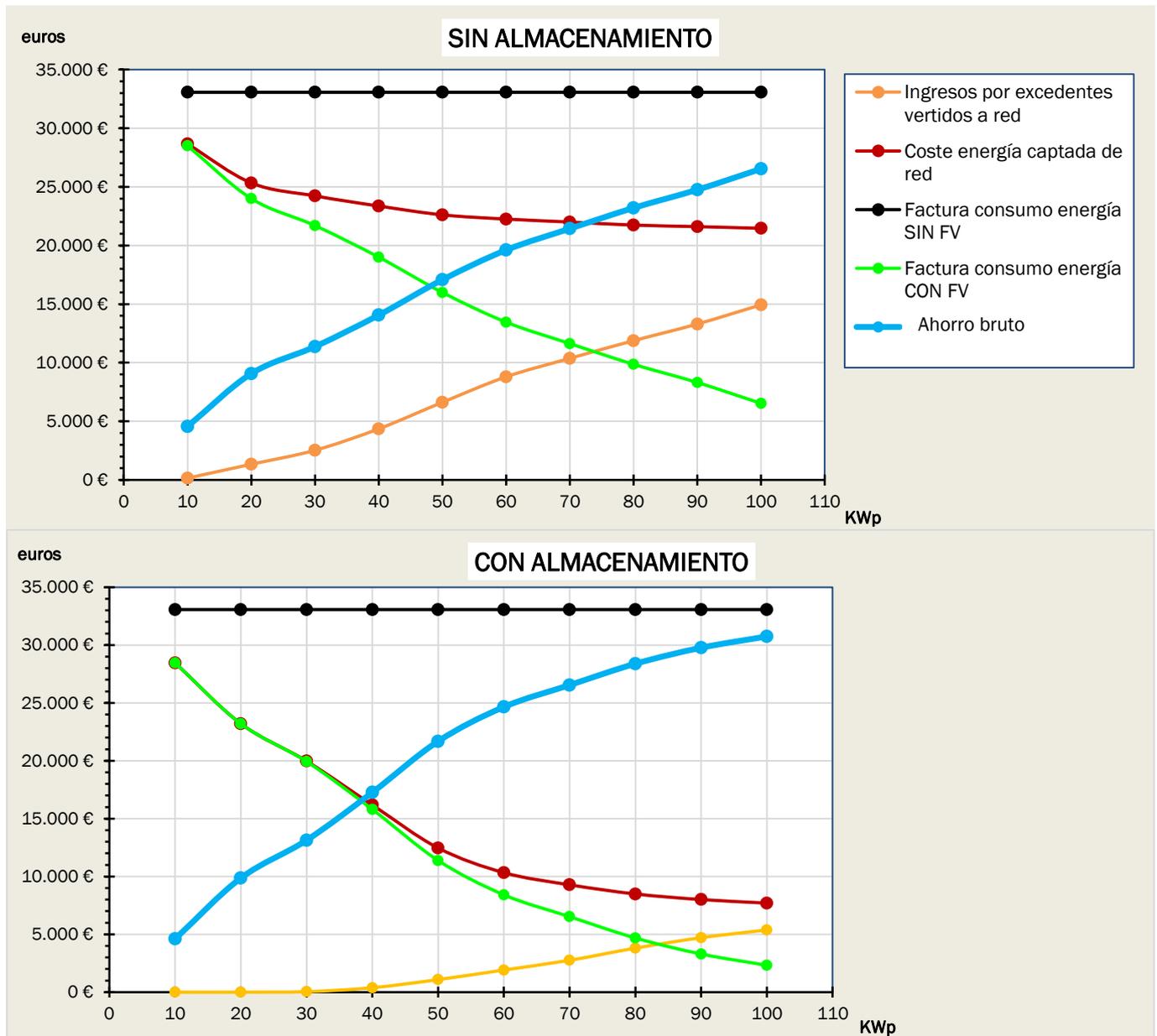


Gráfico 16: comparación valores económicos de consumo de energía y ahorro según potencia de la instalación fotovoltaica sin almacenamiento y con 40 baterías en paralelo de almacenamiento

Para elegir la mejor combinación de potencia instalada y de tamaño del sistema de almacenamiento, se tendrá en cuenta, además del precio de la energía vertida y captada de la red, el precio de la instalación, buscando aquella combinación que provoque un “ahorro neto” máximo.

Gracias a la empresa Cyclorenovables, disponemos de precios reales para los paneles fotovoltaicos, para las baterías de almacenamiento y para el resto de elementos a instalar: inversor, cableado, estructura, cuadro eléctrico, energy manager y parametrización. A partir de estos precios se ha estimado el presupuesto de la instalación calculando previamente los precios unitarios por KWp de paneles fotovoltaicos y por KWh de sistema de almacenamiento, según la siguiente tabla:

elemento	tamaño/unidad	precio	precio unitario
PLACA	455 Wp/placa	239,39 €	526,13 €/KWp
BATERIA	9,6 kWh/batería	7.500,00 €	781,25 € €/KWh
ESTRUCTURA		65,00 €	
INVERSOR	15 KW/inversor	3.458,00 €	230,53 €/KW
ENERGY MANAGER		269,00 €	
CUADRO ELECTRICO		2.150,00 €	
CABLEADO		8.100,00 €	
PARAMETRIZACION		190,00 €	

Tabla 8: precios de los elementos de la instalación (fuente: Cyclorenovables)

A partir de estos valores se ha calculado el presupuesto dependiendo de cada combinación, es decir, desde 10 hasta 100 KWp en cuanto al sistema fotovoltaico, y desde 0 hasta 100 baterías en paralelo, valores del sistema de almacenamiento.

Los valores obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

PRECIO INSTALACION (€)	POTENCIA BATERÍAS (nº baterías en paralelo)										
	POTENCIA PLACAS	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10 KWp	20.864	58.364	88.364	118.364	148.364	178.364	208.364	238.364	268.364	298.364	328.364
20 KWp	31.018	68.518	98.518	128.518	158.518	188.518	218.518	248.518	278.518	308.518	338.518
30 KWp	37.715	75.215	105.215	135.215	165.215	195.215	225.215	255.215	285.215	315.215	345.215
40 KWp	47.869	85.369	115.369	145.369	175.369	205.369	235.369	265.369	295.369	325.369	355.369
50 KWp	58.024	95.524	125.524	155.524	185.524	215.524	245.524	275.524	305.524	335.524	365.524
60 KWp	64.720	102.220	132.220	162.220	192.220	222.220	252.220	282.220	312.220	342.220	372.220
70 KWp	74.875	112.375	142.375	172.375	202.375	232.375	262.375	292.375	322.375	352.375	382.375
80 KWp	85.030	122.530	152.530	182.530	212.530	242.530	272.530	302.530	332.530	362.530	392.530
90 KWp	91.726	129.226	159.226	189.226	219.226	249.226	279.226	309.226	339.226	369.226	399.226
100 KWp	101.881	139.381	169.381	199.381	229.381	259.381	289.381	319.381	349.381	379.381	409.381

Tabla 9: estimación de presupuesto de la instalación según potencia de las placas y nº baterías instaladas.

Tal y como se observa en la tabla 9, el presupuesto aumenta más rápidamente a medida que el sistema de almacenamiento es mayor, siendo este muy determinante a la hora de poder decidir qué tipo de instalación es la mejor económicamente hablando.

En el siguiente gráfico se recogen los valores de la tabla 10, en función de la potencia fotovoltaica instalada y la potencia del sistema de almacenamiento.

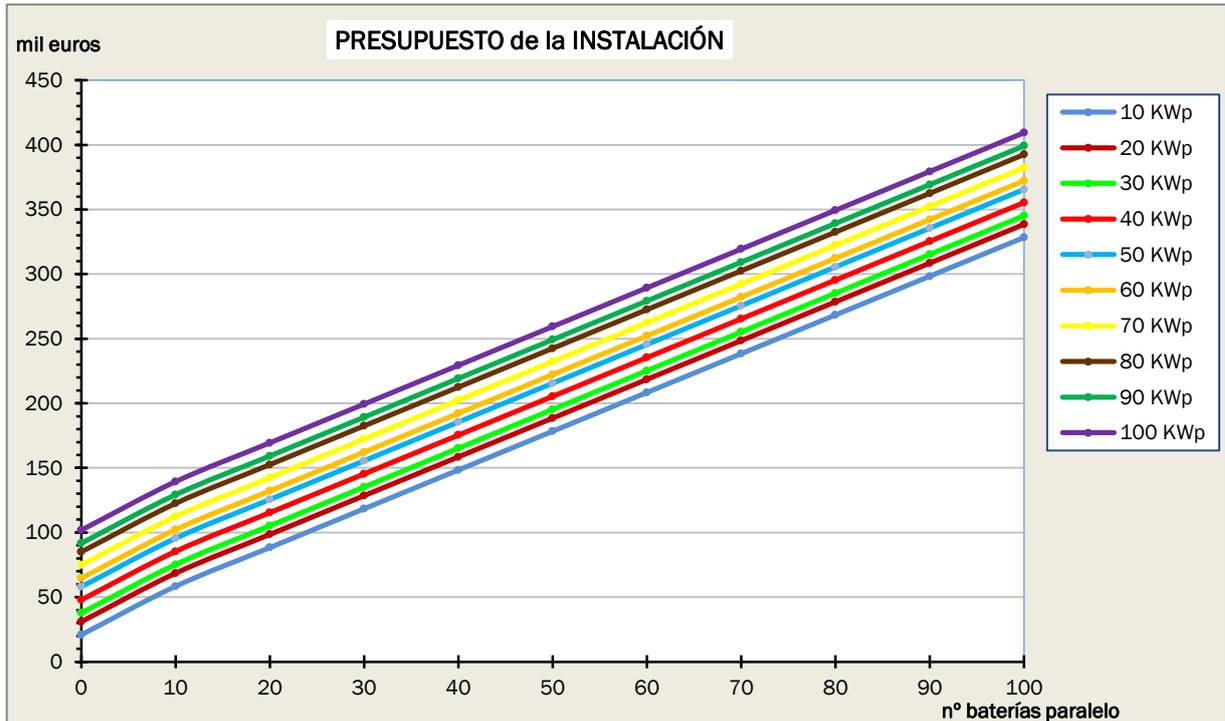


Gráfico 17: evolución del presupuesto de la instalación según la potencia de las placas y el nº de baterías instaladas.

Se observa claramente que el presupuesto de la instalación crece linealmente con el aumento de paneles como con el de baterías de almacenamiento instalados, llegando a un valor máximo de 409.381 euros con 100 kWp y 100 baterías en paralelo.

A partir de estos valores del presupuesto, se puede calcular el ahorro neto anual que proporciona cada combinación de instalación, siendo la mejor aquella en la que el valor de éste sea máximo.

Para calcular el ahorro neto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$AHORRO NETO_{CON FV} = FACTURA_{SIN FV} - FACTURA_{CON FV} - \frac{COSTE INSTALACIÓN FV}{25}$$

donde:

$$FACTURA_{CON FV} = COSTE ENERGÍA_{CON FV} - INGRESOS_{CON FV}$$

Siendo:

- $FACTURA_{SIN FV}$: este valor se corresponde con el importe anual que se pagaría por la energía eléctrica consumida en el complejo deportivo si no existiera instalación fotovoltaica, es decir, actualmente. Este valor se ha obtenido mediante la multiplicación del precio de energía horario² por el consumo horario de energía en el año 2022, siendo ambos valores conocidos.

² Se han tomado los precios horarios de energía en el año 2022 de la página de red eléctrica de España (REE).

- FACTURA CON FV: es el importe de la factura anual final por energía eléctrica del complejo teniendo en cuenta la compensación de excedentes.
- COSTE ENERGÍA CON FV: este valor se corresponde con el importe anual que se pagaría por la energía eléctrica captada de la red en el complejo deportivo una vez hecha la instalación del sistema fotovoltaico. Se obtiene de la misma forma que en el caso anterior, tomando los valores de consumo horario de energía tomada de la red para las diferentes combinaciones de instalación.
- INGRESOS CON FV: este valor refleja el importe ingresado por los excedentes vertidos a la red con la instalación fotovoltaica. Se obtiene multiplicando el precio fijado³ para la compensación por los excedentes vertidos a la red para las diferentes combinaciones. Se ha tenido en cuenta que las compañías eléctricas hacen un cómputo mensual de los excedentes, descartando el exceso sobre el coste de energía, dado que la factura mensual nunca puede ser negativa.
- COSTE INSTALACIÓN FV: este valor refleja el coste de la instalación para las 100 combinaciones estudiadas estimando que la vida útil es de 25 años, para lo que los valores de la tabla 10 se han dividido entre 25.

Aplicando la fórmula anterior, en la siguiente tabla 10 se recoge el ahorro neto estimado para cada combinación de la instalación.

AHORRO NETO (€)	POTENCIA BATERÍAS (nº baterías en paralelo)											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
POTENCIA PLACAS												
10 KWp	3.729	2.282	1.061	-136	-1.332	-2.528	-3.726	-4.923	-6.120	-7.315	-8.511	
20 KWp	7.825	7.017	5.899	4.718	3.521	2.325	1.130	-66	-1.260	-2.454	-3.650	
30 KWp	9.859	9.609	8.726	7.692	6.525	5.350	4.155	2.962	1.768	574	-622	
40 KWp	12.143	12.307	12.038	11.322	10.249	9.100	7.951	6.791	5.611	4.439	3.261	
50 KWp	14.755	15.068	15.093	14.951	14.263	13.213	12.083	10.942	9.798	8.646	7.488	
60 KWp	17.020	17.215	17.232	17.244	16.961	16.350	15.373	14.267	13.134	11.988	10.827	
70 KWp	18.441	18.599	18.600	18.623	18.445	18.025	17.332	16.335	15.272	14.159	13.021	
80 KWp	19.803	19.872	19.934	19.984	19.883	19.575	19.016	18.132	17.051	15.943	14.832	
90 KWp	21.086	21.159	21.264	21.251	20.999	20.648	19.975	18.862	17.723	16.576	15.424	
100 KWp	22.459	21.989	21.921	21.799	21.569	21.022	19.957	18.840	17.726	16.601	15.465	

Tabla 10: estimación de ahorro neto anual en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según potencia de las placas y nº baterías instaladas.

En esta tabla 10 se puede observar como varía el ahorro neto estimado a medida que varía la potencia instalada fotovoltaica y de almacenamiento.

³ Se han tomado los precios horarios en el año 2022 fijados para la compensación de excedentes de la página de red eléctrica de España (REE).

Las opciones de instalación sombreadas en rojo corresponden con dimensiones en las que no existe ahorro, porque la reducción en la factura eléctrica no compensa la inversión a realizar. Se corresponde con instalaciones de potencias bajas de placas fotovoltaicas y elevada potencia de almacenamiento.

En sentido contrario están las casillas sombreadas en amarillo que incluyen las opciones de instalación con una estimación de ahorro mayor.

Se observa claramente en los siguientes gráficos:

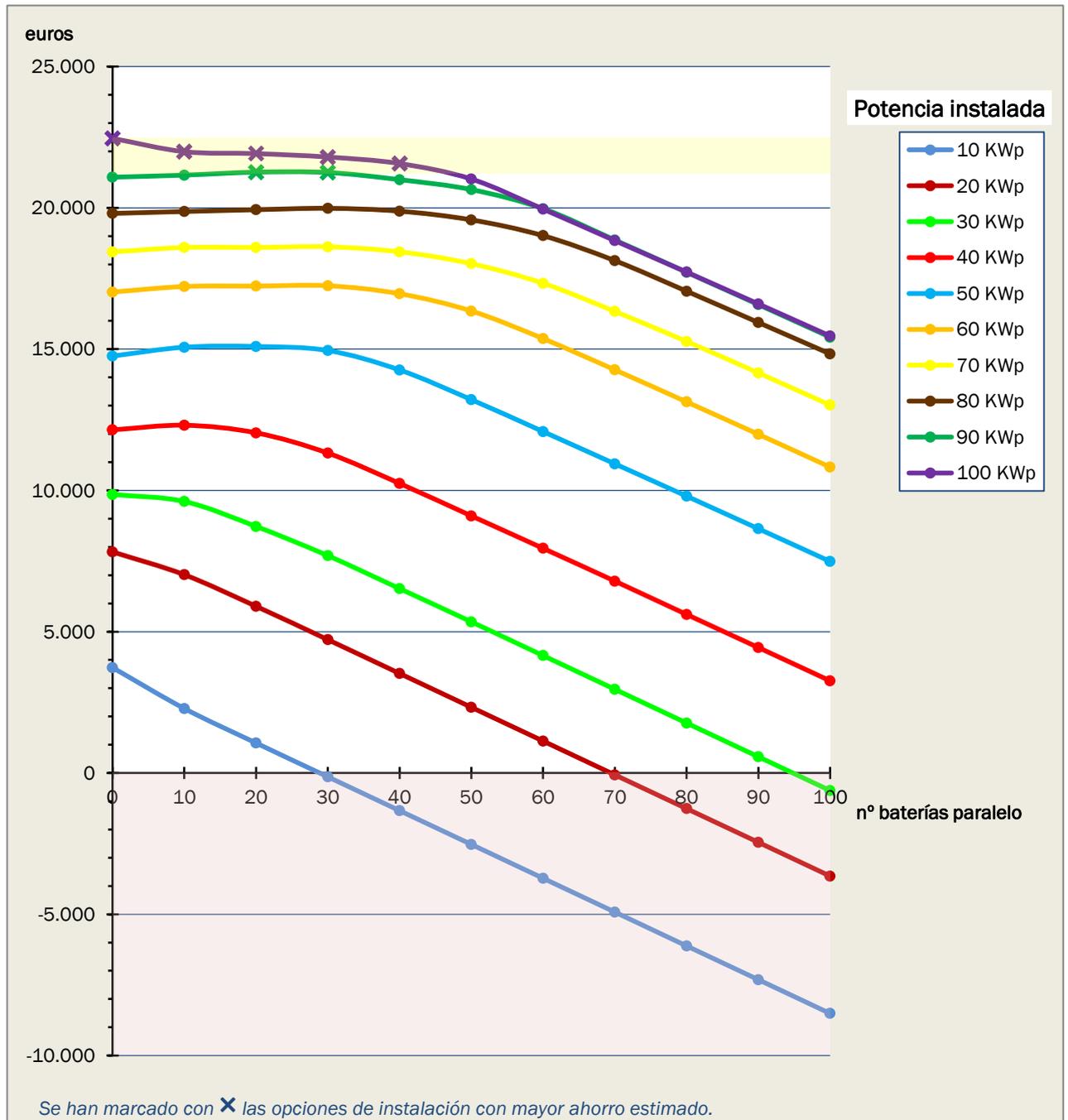


Gráfico 18: evolución del ahorro neto anual estimado en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según el nº baterías instaladas. Cada serie representa una potencia de placas instalada..

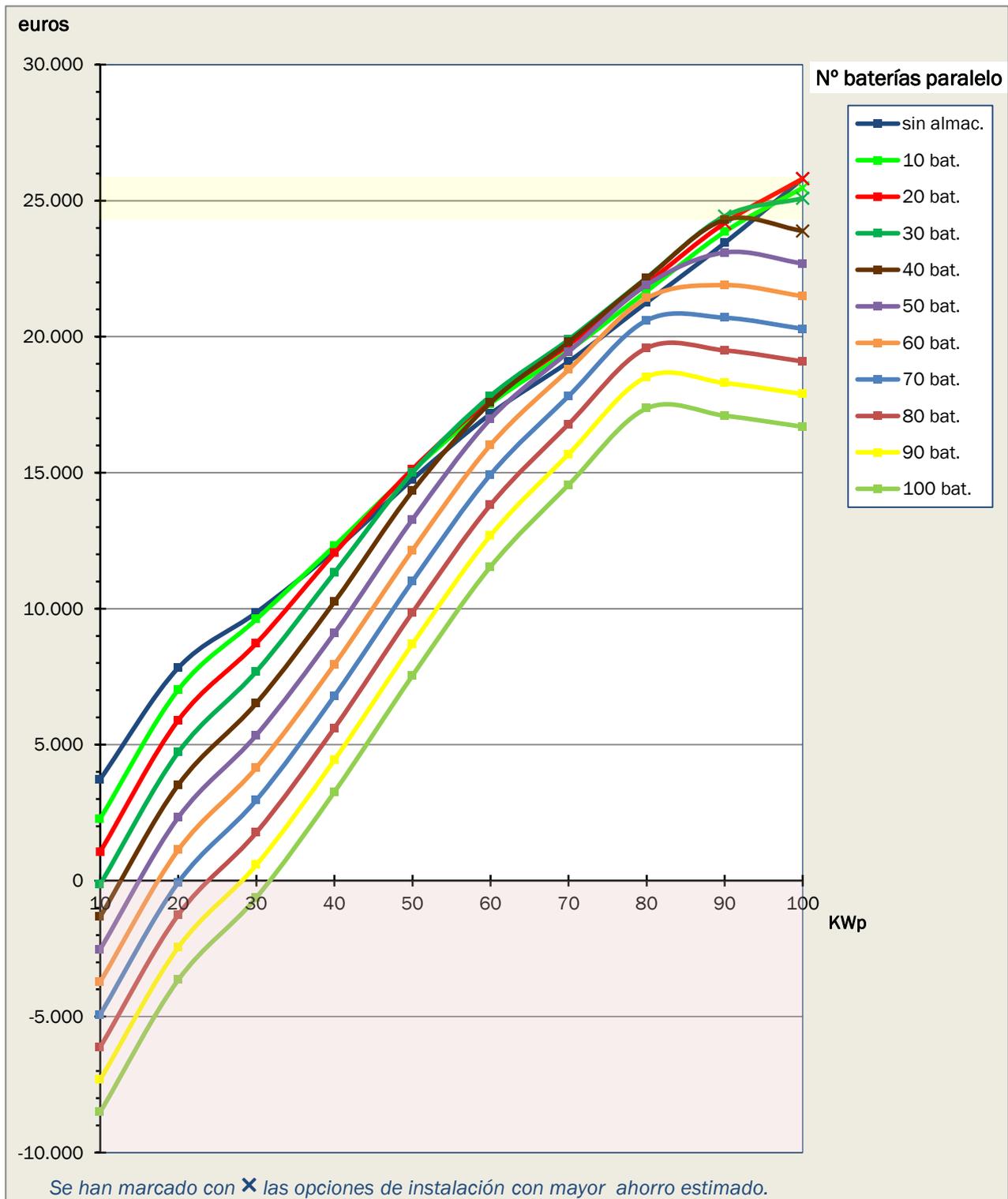


Gráfico 19: evolución del ahorro neto anual estimado en el complejo deportivo tras la puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica según la potencia de placas instalada. Cada serie representa el nº de baterías en paralelo instaladas.

Una vez obtenidos estos valores, se puede afirmar que la instalación que más ahorro neto produce es la combinación de 100 KWp y sin sistema de almacenamiento, con la que se estima un ahorro neto anual de 22.459 euros anuales. Este ahorro disminuye progresivamente a medida que



aumenta el sistema de almacenamiento o disminuye la potencia instalada, llegando incluso a valores negativos.

A continuación, se va a proceder a evaluar la rentabilidad de la instalación mediante el cálculo del flujo de caja y el valor de la tasa interna de retorno (TIR), con el que se obtendrá la instalación ideal, considerando una amortización de la instalación en 25 años, un incremento del precio de la energía del 3,11% anual y una disminución de 1% anual de potencia del panel.

Se ha calculado el flujo de caja acumulado y el valor de la tasa interna de retorno (TIR) para todas las opciones posibles (ver anexo), obteniendo los siguientes valores medios y máximos para estas variables económicas:

- Flujo de caja máximo: 879.282 euros
- TIR máximo: 46,75%
- Flujo de caja medio, descartando valores negativos:.. 546.241 euros
- TIR medio (descartando valores negativos):16,31%

Una vez determinados estos valores consideramos que todas las instalaciones que alcancen el valor medio son rentables económicamente.

La tabla siguiente muestra los valores obtenidos en el estudio económico y de rentabilidad para las siete opciones con las que obteníamos mayor ahorro neto en el estudio económico (ver Tabla 10, página 44) y la opción mejor en el estudio energético, donde se puede ver, que todas pasan sobradamente el estudio de rentabilidad económica.



PLACAS (KWp)	OPCIONES de INSTALACIÓN máximo ahorro neto							
	económico							energético
	100					90		70
Nº BATERIAS en paralelo	0	10	20	30	40	20	30	40
Consumo anual SIN FOTOVOLTAICA (KWh)	108.291	108.291	108.291	108.291	108.291	108.291	108.291	108.291
Factura consumo energía SIN instalación fotovoltaica (€)	33.065	33.065	33.065	33.065	33.065	33.065	33.065	33.065
Consumo anual CON FOTOVOLTAICA (KWh)	67.478	55.401	44.351	34.464	26.094	44.880	35.191	31.078
Factura consumo energía CON instalación fotovoltaica (€)	21.464	17.267	13.587	10.345	7.700	13.754	10.580	9.279
Energía inyectada a RED (KWh)	121.015	102.020	88.133	76.280	66.478	75.488	35.191	26.803
Energía inyectada a RED compensada (KWh)	98.840	78.714	61.965	47.432	36.031	55.913	10.580	17.978
Ingresos por energía inyectada a red (€)	14.933	11.767	9.218	7.054	5.379	8.322	35.191	2.754
Ahorro consumo red SIN/CON Fotovoltaica (€)	26.534	27.564	28.696	29.774	30.744	27.633	10.580	26.540
TIR:	38,44%	27,73%	23,40%	20,46%	18,25%	24,04%	20,91%	17,81%
Coste de la instalación (€)	101.881	139.381	169.381	199.381	229.381	159.226	189.226	202.375
Ahorro neto en euros (€)	896.577	951.711	1.007.960	1.060.338	1.106.192	970.372	1.026.203	953.215
Ahorro neto anual (€)	35.863	38.068	40.318	42.414	44.248	38.815	41.048	38.129
Flujo de caja acumulado (€)	794.696	812.331	838.579	860.957	876.811	811.146	836.977	750.839
Año de recuperación de la inversión	4º	5º	6º	7º	7º	6º	7º	7º

Tabla 11: datos económicos TIR y flujo de caja para diferentes opciones de instalación (elaboración propia)

Como se observa en la tabla anterior, la rentabilidad de los primeros casos, que son los de mayor ahorro neto, tienen valores parecidos de TIR, siendo la opción de 100 KWp sin almacenamiento, la de máxima rentabilidad. Por lo tanto este valor será el elegido como mejor combinación económicamente hablando, debido a que el precio de las baterías influye mucho. En esta combinación, la instalación sería amortizada al cuarto año, obteniendo beneficios de 794.696 euros al final de la vida útil de la instalación.



En la última columna de la tabla 11 se recogen los datos que se obtienen de la combinación de 70 KWp y 40 baterías en paralelo, combinación elegida como mejor en el análisis energético. Se observa que aunque la rentabilidad de la instalación disminuye, debido a la alta inversión inicial, el ahorro neto de la instalación es similar a la mejor combinación posible económicamente, por lo que esta combinación es apta teniendo en cuenta tanto el estudio energético como económico.

4.4. Evaluación final

Si se tiene en cuenta ambos estudios son varias las posibilidades de combinación que existen pero teniendo en cuenta unas pautas a seguir a la hora de la elección:

- A medida que se aumenta el sistema de almacenamiento (baterías en paralelo) la instalación no se vuelve rentable económicamente
- Se necesita una elevada potencia instalada para que energéticamente sea interesante la instalación de placas, de manera que se cumplan los parámetros establecidos en cuanto a autoconsumo y *Sol frac* anteriormente establecidos

Es por eso que una combinación de hasta 50 baterías en paralelo con un mínimo de 70 KWp de potencia instalada cumplirá con los requisitos tanto de *Autoconsumo* como de *Sol frac*, además de ser rentable económicamente

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales de este estudio son:

- El sector fotovoltaico está en continuo crecimiento, impulsado en gran parte por los gobiernos de muchos países debido a la necesidad de obtener energía de una manera más sostenible y limpia.
- Actualmente en España es un negocio completamente rentable debido a nuestra climatología y a los avances tecnológicos, haciendo competencia directa a métodos de generación tradicionales.
- Los proyectos de autoconsumo para hogares y fábricas son una opción muy interesante tanto energéticamente como económicamente.
- Debido a la facilidad de montaje y mantenimiento, la energía fotovoltaica es una alternativa para muchos países o zonas con déficit energético, como es el caso de España.

Respecto al complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” las conclusiones a las que se llega son:

- Si sólo se tiene en cuenta el aspecto económico no conviene la instalación de baterías para almacenamiento, ya que debido a su elevado coste hacen que el proyecto sea menos rentable.
- En cambio, si solo se tienen en cuenta los aspectos energéticos, con la combinación de placas con un sistema de almacenamiento, el ahorro energético del sistema se vuelve elevado.
- Sin embargo, si se piensa en el medio ambiente, valorando en menor medida el aspecto económico, convendría la instalación de baterías en la instalación para así conseguir que prácticamente toda la energía consumida en el complejo sea de origen fotovoltaico, lo que ayudaría a utilizar energías limpias y favorables con el medio ambiente.

Teniendo en cuenta estas pautas, son muchas las posibilidades que serían óptimas tanto energéticamente como económicamente.

Por ejemplo, todas las combinaciones de instalaciones con 70 KWp y un sistema de almacenamiento de hasta 60 baterías en paralelo serían óptimas tanto energéticamente como económicamente

Como conclusión final del estudio se propone la instalación formada por una potencia pico de placas de 70 KWp y un sistema de almacenamiento de 40 baterías en paralelo ya que se considera favorable tanto energéticamente (mejor combinación posible) y económicamente, produciendo ahorros económicos similares a la mejor combinación en este estudio.



Esta instalación produce un ahorro neto de 26.540€, además de producir una TIR de 17,81%, estando este valor por encima de la media producida con todas las combinaciones posibles (16,31%)

Además, esta combinación producirá unos beneficios de 750.839€ al final de su vida útil y será amortizada al séptimo año.

En resumen, esta combinación de 70 kWp y 40 baterías en paralelo de sistema de almacenamiento es la que asegura un mayor aprovechamiento de la energía producida y, al depender menos de la red, es más estable ante las variaciones de los precios de la energía en el mercado eléctrico.



6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Merino, Á. (2022). El Orden Mundial EOM. Obtenido de <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/evolucion-energia-renovable-espana/> [último acceso junio-2023]
- [2] Red Eléctrica de España (REE). (s.f.). Obtenido de <https://www.ree.es> [último acceso junio-2023]
- [3] Tuvatio. (2023). Obtenido de <https://tuvatio.es/blog/como-funcionan-paneles-solares/> [último acceso junio-2023]
- [4] Areatecnología. (s.f.). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/irradiancia-irradiacion.html> [último acceso junio-2023]
- [5] HelioEsfera. (s.f.). Obtenido de <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/> [último acceso junio-2023]
- [6] Tecnoparador. (s.f.). Obtenido de <http://tecnoparador.es/actividades/centrales/fotovoltaicas.html> [último acceso junio-2023]
- [7] I+DEA, Universidad de Jaén (2004). WEB CURSOLAR. Obtenido de <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar> [último acceso junio-2023]
- [8] Sede Electrónica del Catastro. (s.f.). Obtenido de <https://www1.sedecatastro.gob.es/> [último acceso junio-2023]
- [9] Fundación Municipal de Deportes FMD. (2023). Obtenido de <https://www.fmdva.org/instalaciones/listado-de-instalaciones/complejo-deportivo-ciudad-de-valladolid/> [último acceso junio-2023]
- [10] Solarwatt. (2023). Obtenido de <https://www.solarwatt.es/soluciones/nuestros-productos/descripcion-del-producto/modulos> [último acceso junio-2023]
- [11] Fronius International GmbH. (2023). Obtenido de <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-ocios/datos-tecnicos/todos-los-productos> [último acceso junio-2023]
- [12] Mibet Energy. (2023). Obtenido de https://www.mibetsolar.es/solar-steel-carport-pre-assembled-ground-mounting-system_p139.html [último acceso junio-2023]



7. ANEXOS

7.1. Características del complejo deportivo “Ciudad de Valladolid”

El complejo deportivo “Ciudad de Valladolid” está formado por una serie de instalaciones, los cuales se describen a continuación:

- VELÓDROMO: formado por:
 - pista de ciclismo de 250 metros de cuerda,
 - un graderío con capacidad para 2.800 personas
 - 2 vestuarios y aseos
 - taller de reparación
 - oficina de la delegación vallisoletana de ciclismo
 - botiquín
 - 2 almacenes
 - 2 aseos públicos
- CAMPO DE TIRO CON ARCO: formado por:
 - galería cubierta de tiro con arco
 - vestuarios
 - botiquín
 - campo de tiro al aire libre
- CAMPOS DE RUGBY DE PEPE ROJO: formado por:
 - 3 campos de competición de hierba natural
 - 1 campo de entrenamiento
 - campo de hierba artificial
 - graderío principal con capacidad para 2598 espectadores
 - edificio antiguo compuesto por 8 vestuarios, aseos, duchas, dos vestuarios de árbitros, vestuario de trabajadores, tres almacenes y bar
 - nuevo edificio de vestuarios (año 2012) en el campo de entrenamiento nº4
 - caseta que alberga los equipos de riego y bombeo
 - gimnasio
 - 2 salas de prensa
- PISTA DE ATLETISMO: formado por:
 - pista de atletismo de 8 calles, dos zonas de lanzamientos, 2 zonas para saltos de longitud, salto de altura y zona de lanzamiento de jabalina y martillo
 - zona de césped
 - graderío con capacidad para 600 espectadores
 - edificio con 2 vestuarios, sala de musculación y almacenes para material deportivo

- torre de foto y video finish
- PISTA DE AUTOMODELISMO
 - zona de boxes cubierta y circuito de tierra
 - actualmente lo utilizan los clubes de rugby para entrenamiento de las categorías inferiores
- PISTA DE AGILITY
 - pista de entrenamiento y competición
 - caseta de jueces y caseta para oficina-almacén



Imagen (anexos) 1: plano del complejo "Ciudad de Valladolid" (fuente: FMD [9])

A parte de estas instalaciones descritas y gracias a los planos proporcionados por la FMD, cabe destacar la instalación de iluminación y de bombeo de los campos de rugby de Pepe Rojo, como elementos de mayor consumo energético según se ha visto en el desarrollo del estudio.

Dentro de esta parte del complejo, la instalación de iluminación está formada por:

- Campo principal: 4 torres de iluminación, compuestas por 2 proyectores de 1000 W de potencia y 5 proyectores de 2000 W.



Imagen (anexos) 2: detalle de torre de iluminación en campo 1 del complejo "Ciudad de Valladolid" (Fuente: FMD)

- Campo 2 y campo 4: 2 torres de iluminación de 5 proyectores de 2000 W cada una.

La instalación de riego y bombeo de los campos se ubican en una caseta localizada en uno de los fondos del campo 2. Contiene 4 bombas de 15 CV de potencia que aportan un caudal de 18.000 L/h.



Imagen (anexos) 3: localización estación de bombeo y riego en campo 2 del complejo "Ciudad de Valladolid".

7.2. Características de la instalación fotovoltaica

Dentro de este apartado se va a describir una propuesta de instalación en el caso de llevarse a cabo la implantación de la instalación fotovoltaica en el complejo deportivo “Ciudad de Valladolid”

Tal como se ha determinado en el estudio económico, la combinación propuesta para la instalación es la correspondiente a una potencia instalada de 100 KWp y sin sistema de almacenamiento.

Gracias a la empresa Cyclorenovables, se dispone de las fichas técnicas de los diferentes elementos que proponen para la instalación:

Paneles solares Solarwatt P1.0 Pure (455Wp): es un módulo de vidrio-polímero que cuenta con una gama de potencias desde los 440 Wp hasta los 455 Wp. Cada panel está formado por 144 células monocristalinas de alta potencia, teniendo una dimensión total el panel de 2094x1038 mm

Teniendo en cuenta la potencia a instalar y la potencia de cada panel, se deberán de instalar un total de 220 paneles solares, con lo que se obtiene una potencia total de 100,1KWp.



Imagen (anexos) 4: Panel solar Solarwatt P1.0 Pure (fuente: [10])

- Inversor solar trifásico Fronius SYMO 15.0-3wlan: inversor trifásico de 15KW de potencia.



Imagen (anexos) 5: Inversor solar trifásico Fronius SYMO 15.0-3wlan (Fuente: [11])

De la misma manera que con los módulos fotovoltaicos, es necesario calcular el número de inversores necesarios para la instalación en función de la potencia instalada, siendo necesarios en este caso 7 inversores.

Respecto a la ubicación y la forma de montaje de la misma, con el objetivo de no ocupar espacio de aparcamiento en el complejo, se propone la instalación de carports o estructuras que permiten la sujeción de las placas en su parte superior además de servir como techo para los coches, como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen (anexos) 6: sistema carport, modelo propuesto para la instalación de las placas solares (Fuente: [12])

Esta estructura se colocarán en el parking del complejo, las placas en su parte superior, con la orientación sur para obtener el máximo rendimiento.



Imagen (anexos) 7: zona de aparcamiento en el complejo "Ciudad de Valladolid" donde se propone la instalación (Fuente: google maps)



7.3. Tablas de cálculos económicos

Ingresos por excedentes vertidos a red compensados (€) (a)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1.336	328	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	2.532	990	343	121	41	18	5	0	0	0	0	0
40	4.358	2.428	1.204	623	382	253	177	129	91	77	65	65
50	6.622	4.524	2.821	1.724	1.084	788	682	611	551	492	446	446
60	8.796	6.435	4.414	2.932	1.915	1.260	979	834	719	613	514	514
70	10.371	7.889	5.709	4.014	2.754	1.828	1.311	1.067	887	750	622	622
80	11.877	9.251	6.994	5.192	3.805	2.756	2.070	1.645	1.396	1.221	1.067	1.067
90	13.298	10.646	8.322	6.336	4.707	3.495	2.565	1.825	1.472	1.223	1.023	1.023
100	14.933	11.767	9.218	7.054	5.379	3.908	2.541	1.806	1.457	1.212	1.037	1.037

Coste energía captada de red (€) (b)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	28.658	28.449	28.470	28.466	28.462	28.458	28.456	28.453	28.451	28.446	28.441	28.441
20	25.336	23.635	23.263	23.206	23.203	23.199	23.194	23.191	23.184	23.178	23.174	23.174
30	24.229	21.438	20.473	20.085	19.972	19.925	19.907	19.894	19.888	19.882	19.878	19.878
40	23.365	19.772	17.616	16.551	16.183	16.003	15.876	15.788	15.731	15.688	15.654	15.654
50	22.611	18.701	15.773	13.617	12.465	12.019	11.843	11.714	11.597	11.490	11.402	11.402
60	22.252	18.195	14.959	12.264	10.330	9.086	8.582	8.344	8.161	8.001	7.864	7.864
70	22.000	17.860	14.479	11.561	9.279	7.573	6.549	6.102	5.785	5.561	5.371	5.371
80	21.738	17.544	14.024	10.972	8.486	6.544	5.218	4.476	4.108	3.842	3.599	3.599
90	21.608	17.382	13.754	10.580	8.005	5.943	4.486	3.658	3.245	2.942	2.694	2.694
100	21.464	17.267	13.587	10.345	7.700	5.576	4.074	3.256	2.821	2.500	2.262	2.262

Factura consumo energía SIN FV (c) 33.065 €

Factura consumo energía CON FV (€) (d= b - a)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	28.501	28.449	28.470	28.466	28.462	28.458	28.456	28.453	28.451	28.446	28.441	28.441
20	23.999	23.307	23.226	23.206	23.203	23.199	23.194	23.191	23.184	23.178	23.174	23.174
30	21.698	20.447	20.130	19.964	19.931	19.907	19.902	19.894	19.888	19.882	19.878	19.878
40	19.007	17.344	16.412	15.928	15.801	15.750	15.699	15.659	15.639	15.611	15.589	15.589
50	15.989	14.176	12.951	11.893	11.381	11.231	11.161	11.102	11.046	10.998	10.956	10.956
60	13.456	11.761	10.545	9.332	8.415	7.826	7.603	7.509	7.442	7.389	7.350	7.350
70	11.629	9.971	8.770	7.547	6.525	5.745	5.238	5.035	4.897	4.811	4.749	4.749
80	9.861	8.292	7.030	5.780	4.681	3.789	3.147	2.832	2.713	2.621	2.532	2.532
90	8.310	6.737	5.432	4.245	3.297	2.448	1.921	1.833	1.773	1.720	1.671	1.671
100	6.531	5.501	4.369	3.291	2.321	1.668	1.533	1.450	1.364	1.289	1.225	1.225



PRECIO de la INSTALACION (e)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 KWp	20.864	58.364	88.364	118.364	148.364	178.364	208.364	238.364	268.364	298.364	328.364	
20 KWp	31.018	68.518	98.518	128.518	158.518	188.518	218.518	248.518	278.518	308.518	338.518	
30 KWp	37.715	75.215	105.215	135.215	165.215	195.215	225.215	255.215	285.215	315.215	345.215	
40 KWp	47.869	85.369	115.369	145.369	175.369	205.369	235.369	265.369	295.369	325.369	355.369	
50 KWp	58.024	95.524	125.524	155.524	185.524	215.524	245.524	275.524	305.524	335.524	365.524	
60 KWp	64.720	102.220	132.220	162.220	192.220	222.220	252.220	282.220	312.220	342.220	372.220	
70 KWp	74.875	112.375	142.375	172.375	202.375	232.375	262.375	292.375	322.375	352.375	382.375	
80 KWp	85.030	122.530	152.530	182.530	212.530	242.530	272.530	302.530	332.530	362.530	392.530	
90 KWp	91.726	129.226	159.226	189.226	219.226	249.226	279.226	309.226	339.226	369.226	399.226	
100 KWp	101.881	139.381	169.381	199.381	229.381	259.381	289.381	319.381	349.381	379.381	409.381	

AHORRO (€) (f=c - d - e/25)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 KWp	3.729	2.282	1.061	-136	-1.332	-2.528	-3.726	-4.923	-6.120	-7.315	-8.511	
20 KWp	7.825	7.017	5.899	4.718	3.521	2.325	1.130	-66	-1.260	-2.454	-3.650	
30 KWp	9.859	9.609	8.726	7.692	6.525	5.350	4.155	2.962	1.768	574	-622	
40 KWp	12.143	12.307	12.038	11.322	10.249	9.100	7.951	6.791	5.611	4.439	3.261	
50 KWp	14.755	15.068	15.093	14.951	14.263	13.213	12.083	10.942	9.798	8.646	7.488	
60 KWp	17.020	17.215	17.232	17.244	16.961	16.350	15.373	14.267	13.134	11.988	10.827	
70 KWp	18.441	18.599	18.600	18.623	18.445	18.025	17.332	16.335	15.272	14.159	13.021	
80 KWp	19.803	19.872	19.934	19.984	19.883	19.575	19.016	18.132	17.051	15.943	14.832	
90 KWp	21.086	21.159	21.264	21.251	20.999	20.648	19.975	18.862	17.723	16.576	15.424	
100 KWp	22.459	21.989	21.921	21.799	21.569	21.022	19.957	18.840	17.726	16.601	15.465	

% ahorro (f/c)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	-11,28%	-6,90%	-3,21%	0,41%	4,03%	7,65%	11,27%	14,89%	18,51%	22,12%	25,74%	
20	-23,66%	-21,22%	-17,84%	-14,27%	-10,65%	-7,03%	-3,42%	0,20%	3,81%	7,42%	11,04%	
30	-29,82%	-29,06%	-26,39%	-23,26%	-19,73%	-16,18%	-12,57%	-8,96%	-5,35%	-1,74%	1,88%	
40	-36,73%	-37,22%	-36,41%	-34,24%	-31,00%	-27,52%	-24,05%	-20,54%	-16,97%	-13,43%	-9,86%	
50	-44,62%	-45,57%	-45,65%	-45,22%	-43,14%	-39,96%	-36,54%	-33,09%	-29,63%	-26,15%	-22,65%	
60	-51,48%	-52,07%	-52,11%	-52,15%	-51,30%	-49,45%	-46,49%	-43,15%	-39,72%	-36,25%	-32,74%	
70	-55,77%	-56,25%	-56,25%	-56,32%	-55,78%	-54,51%	-52,42%	-49,40%	-46,19%	-42,82%	-39,38%	
80	-59,89%	-60,10%	-60,29%	-60,44%	-60,13%	-59,20%	-57,51%	-54,84%	-51,57%	-48,22%	-44,86%	
90	-63,77%	-63,99%	-64,31%	-64,27%	-63,51%	-62,45%	-60,41%	-57,05%	-53,60%	-50,13%	-46,65%	
100	-67,92%	-66,50%	-66,30%	-65,93%	-65,23%	-63,58%	-60,36%	-56,98%	-53,61%	-50,21%	-46,77%	



7.4. Tablas cálculos rentabilidad económica

Flujo de caja acumulado (€)	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 KWp	81.109	46.394	15.578	-14.291	-44.134	-73.983	-103.890	-133.771	-163.671	-193.482	-223.306	
20 KWp	242.330	236.710	211.245	182.180	152.317	122.459	92.655	62.796	33.034	3.289	-26.560	
30 KWp	320.519	339.271	324.732	302.283	273.951	245.010	215.267	185.583	155.826	126.047	96.214	
40 KWp	407.602	444.375	456.649	448.337	424.445	397.046	369.401	341.187	312.147	283.321	254.255	
50 KWp	505.511	548.929	574.946	591.591	584.672	561.941	535.168	507.800	480.312	452.440	424.320	
60 KWp	588.252	628.278	655.408	679.884	690.627	686.804	666.851	641.226	614.385	586.985	558.974	
70 KWp	642.569	681.676	708.969	734.857	750.839	755.769	748.063	727.180	703.414	674.909	650.492	
80 KWp	694.889	731.169	761.200	788.667	808.254	818.165	816.530	800.905	776.732	710.062	725.357	
90 KWp	742.534	779.114	811.146	836.977	851.726	860.700	855.709	832.581	806.595	738.697	752.660	
100 KWp	794.696	812.331	838.579	860.957	876.811	879.282	860.922	837.572	812.589	786.673	759.982	

valor medio (excluyendo <0)= 546.241

TIR	ALMACENAMIENTO (Nº BATERÍAS instaladas en paralelo)											
	POTENCIA PLACAS (KWp)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 KWp	27,34%	6,09%	1,50%	-1,10%	-2,89%	-4,23%	-5,30%	-6,18%	-6,93%	-7,57%	-8,13%	
20 KWp	43,50%	18,27%	12,01%	8,46%	6,07%	4,31%	2,94%	1,82%	0,88%	0,08%	-0,62%	
30 KWp	45,84%	22,53%	15,91%	12,06%	9,38%	7,43%	5,89%	4,65%	3,61%	2,73%	1,95%	
40 KWp	44,53%	25,32%	19,38%	15,52%	12,63%	10,47%	8,80%	7,45%	6,31%	5,35%	4,51%	
50 KWp	44,85%	27,61%	21,91%	18,40%	15,58%	13,27%	11,43%	9,95%	8,72%	7,68%	6,77%	
60 KWp	46,75%	29,41%	23,50%	19,97%	17,35%	15,21%	13,33%	11,75%	10,44%	9,32%	8,35%	
70 KWp	43,37%	28,95%	23,57%	20,25%	17,81%	15,85%	14,15%	12,63%	11,33%	10,17%	9,22%	
80 KWp	40,76%	28,43%	23,59%	20,48%	18,18%	16,33%	14,74%	13,27%	11,96%	10,36%	9,86%	
90 KWp	40,21%	28,70%	24,04%	20,91%	18,52%	16,65%	15,01%	13,45%	12,13%	10,53%	10,01%	
100 KWp	38,44%	27,73%	23,40%	20,46%	18,25%	16,39%	14,63%	13,15%	11,90%	10,83%	9,88%	

valor medio (excluyendo <0)= 16,31%

sombreado en verde los valores por encima de la media.

sombreado en amarillo las opciones con TIR o flujo de caja negativos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Dimensionamiento de instalación fotovoltaica conectada a red en el
complejo deportivo Ciudad de Valladolid

8. PLANOS

Anexado