



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA EDIFICIOS SOSTENIBLES

Autor: Martín Navarro Roán  
Director: Javier González Tornos

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Sistemas de almacenamiento de energía para edificios sostenibles  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Martín Navarro Roán

Fecha: 20/ 01/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Javier González Tornos

Fecha: 20/ 01/ 2025





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA EDIFICIOS SOSTENIBLES

Autor: Martín Navarro Roán  
Director: Javier González Tornos

Madrid



# **SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA EDIFICIOS SOSTENIBLES**

**Autor: Navarro Roán, Martín.**

Director: González Tornos, Javier.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El objetivo del estudio es identificar las tecnologías de almacenamiento de energía idóneas para edificios sostenibles, para un consumo diario medio de 10 kWh y para un consumo diario medio de 100 kWh. Se estudiará la idoneidad de las siguientes tecnologías: batería de litio, almacenamiento de hidrógeno, volante de inercia y batería de vanadio. Los resultados obtenidos muestran la batería de litio como la mejor tecnología actualmente para ambos casos. La batería de vanadio puede reemplazar a la batería de litio en un futuro como tecnología idónea para un consumo diario medio de 100 kWh, aunque se debe tener en cuenta que el peso de esta tecnología implicaría que debe instalarse en la planta inferior del edificio.

**Palabras clave:** Almacenamiento, Litio, Hidrógeno, Inercia, Vanadio

### **1. Introducción**

El objetivo principal del estudio es identificar los sistemas de almacenamiento de energía idóneos para mejorar la sostenibilidad en edificios. Estos métodos de almacenamiento de energía permitirían al edificio almacenar energía producida mediante placas fotovoltaicas para poder consumirlas posteriormente, ayudando así a reducir el consumo de energía de la red, entre cuyos orígenes están fuentes de energía no renovables. Otra opción para estos edificios es la de almacenar energía proveniente de la red en periodos valle, para poder consumirla en periodos punta. Estas dos posibilidades ayudarían a aplanar la curva de la demanda y a hacer un mayor uso de las energías renovables.

### **2. Definición del proyecto**

Para estandarizar el análisis, se estudiarán las diferentes tecnologías para dos casos. Se estudiarán las tecnologías para una vivienda con un consumo diario medio de 10 kWh y para un módulo con un consumo diario medio de 100 kWh, pudiendo analizar la escalabilidad de cada tecnología.

Se llevará a cabo el análisis de cada sistema por separado, para después realizar la comparativa de las diferentes tecnologías para cada caso. Los diferentes objetivos del estudio en los que se divide el proyecto son los siguientes:

- Estudio de las diferentes ventajas e inconvenientes.
- Estudio de requisitos técnicos.
- Estimación económica de la instalación de cada tecnología para cada caso.
- Elección de las tecnologías óptimas para cada caso.

El esquema de trabajo seguido en la realización del proyecto es el siguiente:

| Tarea                                                       | Mes                                                                               |                                                                                    |                                                                                     |       |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                             | Octubre                                                                           | Noviembre                                                                          | Diciembre                                                                           | Enero |
| Investigación Tecnologías                                   |  |                                                                                    |                                                                                     |       |
| Análisis de viabilidad técnica de las tecnologías escogidas |                                                                                   |  |                                                                                     |       |
| Análisis de viabilidad económica                            |                                                                                   |                                                                                    |   |       |
| Comparativa de las tecnologías                              |                                                                                   |                                                                                    |   |       |
| Reflexión ODS                                               |                                                                                   |                                                                                    |   |       |
| Revisión                                                    |                                                                                   |                                                                                    |  |       |

Tabla 1: Esquema de trabajo seguido

### 3. Análisis de las tecnologías

Para calcular el ahorro que cada sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros. Los ahorros para los casos de 10 kWh y 100 kWh son los siguientes:

$$Ahorro = 10 \frac{kWh}{día} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 días = 336,53 €$$

$$Ahorro = 100 \frac{kWh}{día} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 días = 3.365,30 €$$

Para almacenar energía en una batería de litio se necesita disponer de la batería de litio y de un inversor híbrido, que permita rectificar e invertir la tensión para cargar y descargar la batería. Para un consumo diario medio de 10 kWh se ha escogido una batería de 10 kWh y 87 V. Esta batería cuenta con un módulo inteligente que brinda protección contra sobrecargas, sobredescargas, cortocircuitos, sobrecorriente y sobretensión. El inversor híbrido escogido tiene una potencia máxima de 9 kW. Para escalar la tecnología hasta los 100 kWh de capacidad, se ha elegido utilizar 10 baterías de 10 kWh y 87 V en paralelo y un inversor de 15 kW, capaz de soportar la descarga de las baterías. Se debe tener en cuenta para esta tecnología que su desecho debe realizarse a través de un gestor autorizado, tal y como lo establece el Real Decreto 106/2008.

Para almacenar energía en forma de hidrógeno se ha escogido almacenar el hidrógeno en forma de gas comprimido, y generar y consumir este hidrógeno mediante la electrólisis del agua. Se ha utilizado un tanque para almacenar el hidrógeno, un generador por electrólisis con membrana de intercambio protónico (PEM) para la generación, un compresor para poder almacenar el hidrógeno en el tanque, una pila de hidrógeno PEM para la transformación de hidrógeno en energía eléctrica y un inversor híbrido para rectificar e invertir la tensión. Para escalar la tecnología se han utilizado varios de los elementos mencionados anteriormente para llegar a almacenar y consumir 100 kWh diarios. Se debe tener en cuenta el elevado coste que supone garantizar la seguridad de la instalación.

Para el volante inercia, se ha utilizado un volante de inercia Amber Kinetics M-32 y un inversor capaz de almacenar y consumir 10 kWh diarios. Para escalar la tecnología, se han dispuesto tres volantes de inercia Amber Kinetics M-32 en paralelo y un inversor capaz de almacenar 100 kWh diarios. Se debe tener en cuenta el elevado peso de este sistema de almacenamiento de energía y su incapacidad para almacenar energía durante periodos prolongados de tiempo.

Para almacenar 10 kWh diarios en una batería de vanadio, se ha utilizado un reactor, dos bombas para las dos soluciones que toman parte en la reacción, dos tanques capaces de almacenar las soluciones y un inversor híbrido capaz de almacenar y consumir 10 kWh diarios. La escalabilidad de esta tecnología le permite ampliar la capacidad de la batería sin tener que incurrir en costes adicionales elevados, debido a que solo sería necesario aumentar la capacidad de los tanques para poder almacenar más solución y elegir un inversor con la potencia necesaria. Para un consumo diario medio de 100 kWh, se debe tener en cuenta que el peso de las soluciones comprometería la seguridad estructural del edificio, por lo que debe ser instalada la batería en la planta inferior del edificio.

#### 4. Resultados

Los resultados obtenidos para un consumo medio diario de 10 kWh son los siguientes:

| 10 kWh             | VAN          | TIR | Rendimiento | Área (m²) | Peso (kWh) | Limitación                                 |
|--------------------|--------------|-----|-------------|-----------|------------|--------------------------------------------|
| Batería de Litio   | -1.057,94 €  | -3% | 89,34%      | 1         | -          |                                            |
| Hidrógeno          | -43.195,44 € | -   | 19,20%      | 2         | -          | Requisitos de mantenimiento y de seguridad |
| Volante de inercia | -15.837,72 € | -3% | 80,92%      | 3         | 4783       | Peso                                       |
| Batería de Vanadio | -8.802,70 €  | -6% | 70,57%      | 1         | -          | Inmadurez                                  |

Tabla 2: Resultados para un consumo diario medio de 10 kWh

Los resultados obtenidos para un consumo medio diario de 100 kWh son los siguientes:

| 100 kWh            | VAN          | TIR | Rendimiento | Área (m <sup>2</sup> ) | Peso (kg) | Limitación                                 |
|--------------------|--------------|-----|-------------|------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| Batería de Litio   | 2.112,72 €   | 4%  | 89,34%      | 3                      | -         |                                            |
| Hidrógeno          | -52.237,71 € | -   | 19,20%      | 4                      | -         | Requisitos de mantenimiento y de seguridad |
| Volante de inercia | -35.310,17 € | -1% | 80,92%      | 7                      | 14.310    | Peso                                       |
| Batería de Vanadio | 968,73 €     | 4%  | 70,57%      | 4                      | 2.000     | Inmadurez                                  |

Tabla 3: Resultados para un consumo diario medio de 100 kWh

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que la batería de litio es la que presenta el mayor valor actual neto para ambos casos. Su elevada densidad energética, su rendimiento y sus bajos costes, favorecidos por su estado de madurez y desarrollo; han permitido que sea la tecnología más utilizada actualmente. Los impactos negativos en el medio ambiente que tienen la extracción del litio y del cobalto y el desecho de la batería hacen necesario el desarrollo de sistemas de almacenamiento alternativos que planteen una solución más sostenible.

El almacenamiento de hidrógeno no es recomendable para ninguno de los dos casos. Esto es debido a que cuentan con los mayores costes de las diferentes tecnologías estudiadas. Estos costes son debidos a la seguridad. Esta tecnología podría ser rentable para el almacenamiento de energía a gran escala.

El volante de inercia no es recomendable para un consumo medio diario de 10 kWh ni para un consumo medio diario de 100 kWh debido a que este sistema no permite almacenar energía por más de cuatro horas y a que su estado de madurez implica que los costes no han sido todavía optimizados. La escalabilidad de esta tecnología no es buena; y se debe tener en cuenta que, debido al peso de este método de almacenamiento, se debe instalar el volante de inercia en la planta inferior del edificio. Esta tecnología es adecuada para necesidades de transmisión de una elevada potencia en un periodo de tiempo reducido, como en el frenado de trenes y en la estabilización de la red eléctrica.

La batería de vanadio es el método que más se acerca a la rentabilidad de la batería de litio. Este sistema tiene una alta escalabilidad debido a que solo es necesario aumentar la solución y la capacidad de los tanques para aumentar la capacidad, lo que le permite ser rentable para un consumo diario medio de 100 kWh. Esta tecnología se encuentra en desarrollo y su implementación no está extendida. A medida que este sistema madure, se reducirán los costes y se podrá llegar a superar la rentabilidad de la batería de litio sin tener los impactos negativos ambientales de esta. Se debe tener en cuenta que, para almacenamientos elevados de energía, el peso del sistema puede suponer un riesgo para la integridad estructural del edificio, por lo que se deberá instalar en la planta baja del edificio.

## 6. Referencias

- [1] H2 Vector. “Almacenamiento de hidrógeno”. Disponible en: <https://h2vector.com/noticias/almacenamiento-de-hidrogeno>.
- [2] CSIC. “Baterías recargables de litio: fundamentos y materiales”. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/49720/1/bsecv-16-05-2012-dos.pdf>.
- [3] Iberdrola. “Electrolizador: el proceso clave para la producción de hidrógeno verde”. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>.
- [4] Huntkey Energy Storage. “Flywheel energy storage”. Disponible en: <https://www.huntkeyenergystorage.com/es/flywheel-energy-storage/>.
- [5] Wikipedia. “Batería redox de vanadio”. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_redox\\_de\\_vanadio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_redox_de_vanadio)
- [6] Endesa. “Baterías de vanadio: importancia en la transición energética”. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/baterias-vanadio-importancia-transicion-energetica>.

# ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR SUSTAINABLE BUILDINGS

**Author: Navarro Roán, Martín.**

Supervisor: González Tornos, Javier.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

The aim of this study is to identify the most suitable energy storage systems for improving sustainability in buildings, considering an average daily consumption of 10 kWh and an average daily consumption of 100 kWh. The suitability of the following technologies will be analysed: lithium battery, hydrogen storage, flywheel, and vanadium battery. The results show that lithium batteries are currently the best technology for both scenarios. Vanadium batteries could replace lithium batteries in the future as the most suitable technology for an average daily consumption of 100 kWh, though it should be taken into account that the weight of this technology would require this technology to be installed on the ground floor of the building.

**Keywords:** Storage, Lithium, Hydrogen, Inertia, Vanadium

## 1. Introduction

The main objective of this study is to identify the most suitable energy storage systems to improve the sustainability in buildings. These energy storage methods would allow the building to store energy produced through photovoltaic panels for later use. Hence, it would help reduce consumption of energy from the grid, which comes partly from non-renewable sources. Another option for these buildings is to store energy from the grid during the cheapest periods, to consume it during peak periods. Both options would help flatten the demand curve and make greater use of renewable energy sources.

## 2. Project Definition

To standardize the analysis, the different technologies will be studied for two cases. The technologies will be studied for a residential unit with an average daily consumption of 10 kWh and for a module with an average daily consumption of 100 kWh, being able to study the scalability of the different technologies.

Each system will be analysed individually, followed by a comparison of the different technologies for each scenario. The different objectives in which the study is divided are the following:

- Study of the advantages and disadvantages.
- Study of technical requirements.
- Economic estimation of the installation of each technology for both scenarios.
- Selection of the optimal technologies for each case.

The work plan for the project is structured as follows:

| Task                           | Month                                                                             |                                                                                    |                                                                                     |         |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                | October                                                                           | November                                                                           | Dicember                                                                            | January |
| Research on technologies       |  |                                                                                    |                                                                                     |         |
| Technical feasibility analysis |                                                                                   |  |                                                                                     |         |
| Economic feasibility analysis  |                                                                                   |                                                                                    |   |         |
| Comparison of the technologies |                                                                                   |                                                                                    |   |         |
| Reflections on the SDG         |                                                                                   |                                                                                    |   |         |
| Review                         |                                                                                   |                                                                                    |  |         |

Tabla 4: Work plan

### 3. Analysis of the technologies

To calculate the savings that each storage system would provide, the price difference between peak and off-peak hours has been used. A random weekday, not falling on a weekend, holiday, or holiday eve, was chosen to determine the difference between peak hour prices and off-peak hour prices. December 19, 2023, was selected, as the average price for that month is the same as the average price of the year 2023. On that day, the peak hour price was €201.7/MWh, and the off-peak hour price was €109.5/MWh. These prices were chosen because stored energy may originate either from photovoltaic surpluses or from grid energy purchased during cheaper periods. This stored energy would then be consumed during the more expensive periods. The savings for each case are the following:

$$Savings = 10 \frac{kWh}{day} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 days = 336,53 €$$

$$Savings = 100 \frac{kWh}{day} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 days = 3.365,30 €$$

To store energy in a lithium battery, it is mandatory to have a lithium battery and a hybrid inverter to rectify and invert the voltage for charging and discharging the battery. For an average daily consumption of 10 kWh, a battery with a capacity of 10 kWh and a voltage of 87 V was chosen. This battery includes a smart module that provides protection against overcharging, discharging, short-circuits, overcurrents, and overheating. This hybrid inverter has a maximum power of 9 kW. To scale this technology to 100 kWh, 10 lithium batteries of 10 kWh and 87 V were connected in parallel, and a 15 kW inverter was used. It is important to note that the disposal of this technology must be conducted through an authorized manager, as specified by the pertinent law.

For hydrogen storage, hydrogen is stored as compressed gas in a tank and generated and consumed through water electrolysis. For the system, we will need to include a hydrogen storage tank, a proton exchange membrane (PEM) electrolyser for hydrogen generation, a compressor to store hydrogen in the tank, a PEM fuel cell to convert hydrogen into electrical energy, and a hybrid inverter for rectifying and inverting the voltage. To scale the technology, additional components similar to the above mentioned were used to store and consume 100 kWh daily. However, it is important to take into consideration the high cost of ensuring the safety of the installation.

For flywheel energy storage, an Amber Kinetics M-32 flywheel was used with an inverter capable of storing and consuming 10 kWh daily. To scale the technology, three Amber Kinetics M-32 flywheels were set up in parallel with an inverter capable of storing the 100 kWh daily consumption specified. It is important to consider the heavy weight of this system and its inability to store energy for extended periods of time.

To store 10 kWh daily in a vanadium battery, the system included a reactor, two pumps for the solutions involved in the reactor, two tanks to store the solutions, and a hybrid inverter capable of storing and consuming 10 kWh daily. The great scalability of this technology allows for a capacity expansion without incurring in significantly higher costs, as it would only be necessary to increase the tank and select an appropriately powered inverter. For an average daily consumption of 100 kWh, it is crucial to consider that the weight of the solutions may compromise the structural safety of the building. Therefore, the battery must be installed on the ground floor.

#### 4. Results

The results obtained for an average daily consumption of 10 kWh are the following:

| 10 kWh           | NPV          | IRR | Efficiency | Area (m <sup>2</sup> ) | Weight (kg) | Limitation             |
|------------------|--------------|-----|------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Lithium battery  | -1.057,94 €  | -3% | 89,34%     | 1                      | -           |                        |
| Hydrogen Storage | -43.195,44 € | -   | 19,20%     | 2                      | -           | Maintenance and safety |
| Flywheel         | -15.837,72 € | -3% | 80,92%     | 3                      | 4783        | Weight                 |
| Vanadium Battery | -8.802,70 €  | -6% | 70,57%     | 1                      | -           | Immaturity             |

*Tabla 5: Results for an average daily consumption of 10 kWh*

The results obtained for an average daily consumption of 100 kWh are the following:

| 100 kWh          | NPV          | IRR | Efficiency | Area (m <sup>2</sup> ) | Weight (kg) | Limitation             |
|------------------|--------------|-----|------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Lithium battery  | 2.112,72 €   | 4%  | 89,34%     | 3                      | -           |                        |
| Hydrogen Storage | -52.237,71 € | -   | 19,20%     | 4                      | -           | Maintenance and safety |
| Flywheel         | -35.310,17 € | -1% | 80,92%     | 7                      | 14.310      | Weight                 |
| Vanadium Battery | 968,73 €     | 4%  | 70,57%     | 4                      | 2.000       | Immaturity             |

Tabla 6: Results for an average daily consumption of 100 kWh

## 5. Conclusions

The results obtained show that the lithium battery presents the highest net present value for both cases. Its high energy density, efficiency and low costs, supported by its state of maturity and development, have made it the most used system for storing energy. However, the environmental impacts caused by the extraction of lithium and cobalt and by the disposal of the battery, highlight the need for the development of alternative storage systems that offer a more sustainable solution.

Hydrogen storage is not recommended for either case. This is because it has the highest costs among the technologies studied, which are due to safety considerations. This technology could be more interesting for large-scale energy storage.

Flywheel storage is not recommended for an average daily consumption of 10 kWh nor for an average daily consumption of 100 kWh, as this system cannot store energy for more than four hours, and its immaturity in the development means that costs have not yet been optimized. The scalability of this technology is poor, and it must be noted that due to the weight of this storage method, the flywheel must be installed on the ground floor of the building. This technology is suitable for high-power transmission needs over short periods of time, such as in train braking and power grid stabilization.

Vanadium batteries are the closest method to achieving the profitability of lithium batteries. This system has a high scalability since it is only necessary to increase the solution and tank to increase the overall capacity, making it profitable for an average daily consumption of 100 kWh.

This technology is still under development. As the system matures, costs will decrease, and it may surpass the profitability of lithium batteries, without the associated environmental impact lithium batteries have. It must be considered that for high energy storage, the weight of the system could pose a risk to the structural integrity of the building, meaning that it should be installed on the ground floor.

## 6. References

- [1] H2 Vector. “Almacenamiento de hidrógeno”. Available at:  
<https://h2vector.com/noticias/almacenamiento-de-hidrogeno>.
- [2] CSIC. “Baterías recargables de litio: fundamentos y materiales”. Available at:  
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/49720/1/bsecv-16-05-2012-dos.pdf>.
- [3] Iberdrola. “Electrolizador: el proceso clave para la producción de hidrógeno verde”. Available at: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>.
- [4] Huntkey Energy Storage. “Flywheel energy storage”. Available at:  
<https://www.huntkeyenergystorage.com/es/flywheel-energy-storage/>.
- [5] Wikipedia. “Batería redox de vanadio”. Available at:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_redox\\_de\\_vanadio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_redox_de_vanadio).
- [6] Endesa. “Baterías de vanadio: importancia en la transición energética”. Available at:  
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/baterias-vanadio-importancia-transicion-energetica>.

# MEMORIA



## Contenido

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Capítulo 1: Introducción y planteamiento del proyecto.....                       | 25 |
| 1.1 Introducción.....                                                            | 26 |
| 1.2 Planteamiento del problema .....                                             | 27 |
| Capítulo 2: Estado de la cuestión .....                                          | 29 |
| 2.1 Batería de litio .....                                                       | 30 |
| 2.2 Almacenamiento de hidrógeno.....                                             | 32 |
| 2.3 Volante de inercia .....                                                     | 33 |
| 2.4 Batería de vanadio .....                                                     | 34 |
| Capítulo 3: Análisis de las tecnologías.....                                     | 37 |
| 3.1 Batería de litio .....                                                       | 38 |
| 3.1.1 Historia.....                                                              | 38 |
| 3.1.2 Fundamento técnico .....                                                   | 40 |
| 3.1.3 Principales usos.....                                                      | 43 |
| 3.1.4 Ventajas e inconvenientes .....                                            | 43 |
| 3.1.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh.....          | 44 |
| 3.1.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh ... | 48 |
| 3.1.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh .....        | 50 |
| 3.1.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh .  | 53 |
| 3.2 Almacenamiento de hidrógeno.....                                             | 55 |
| 3.2.1 Historia.....                                                              | 55 |
| 3.2.2 Fundamento técnico .....                                                   | 56 |
| 3.2.3 Principales usos.....                                                      | 57 |
| 3.2.4 Ventajas e inconvenientes .....                                            | 57 |
| 3.2.5 Implicaciones legales de almacenar hidrógeno .....                         | 58 |
| 3.2.6 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh.....          | 59 |
| 3.2.7 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh ..  | 66 |
| 3.2.8 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh .....        | 69 |
| 3.2.9 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh .  | 76 |
| 3.3 Volante de inercia .....                                                     | 79 |
| 3.3.1 Historia.....                                                              | 79 |
| 3.3.2 Fundamento técnico .....                                                   | 80 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3 Ventajas e inconvenientes .....                                           | 81  |
| 3.3.4 Principales usos.....                                                     | 81  |
| 3.3.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh .....        | 82  |
| 3.3.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh .. | 84  |
| 3.3.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh .....       | 86  |
| 3.3.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh   | 88  |
| 3.4 Batería de Vanadio .....                                                    | 90  |
| 3.4.1 Historia .....                                                            | 90  |
| 3.4.2 Fundamento técnico .....                                                  | 90  |
| 3.4.3 Ventajas e inconvenientes .....                                           | 92  |
| 3.4.4 Principales usos.....                                                     | 93  |
| 3.4.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh .....        | 93  |
| 3.4.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh .. | 97  |
| 3.3.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh .....       | 99  |
| 3.4.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh   | 102 |
| Capítulo 4: Comparativa de las tecnologías .....                                | 105 |
| 4.1 Viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh.....            | 106 |
| 4.2 Viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh .....          | 107 |
| Capítulo 5: Conclusiones.....                                                   | 111 |
| Capítulo 6: Bibliografía.....                                                   | 115 |
| Capítulo 7: Anexos .....                                                        | 121 |
| Anexo I: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....            | 122 |
| Anexo II: Planificación del proyecto .....                                      | 124 |
| Anexo III: Hojas de características.....                                        | 125 |

## Índice de ilustraciones

|                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 1: Volante de inercia de acero.....                                                                                                                                                                                                         | 33  |
| Ilustración 2: Volante de inercia de fibra de carbono.....                                                                                                                                                                                              | 34  |
| Ilustración 3: Batería de Vanadio en Son Orlandis, Mallorca.....                                                                                                                                                                                        | 35  |
| Ilustración 4: Imagen de Stanley Whittingham.....                                                                                                                                                                                                       | 38  |
| Ilustración 5: Imagen del coche Nissan Altra.....                                                                                                                                                                                                       | 39  |
| Ilustración 6: Estructuras más frecuentes de anfitriones (a) Estructura en cadenas (b) Estructura tridimensional que permite un huésped unidimensional (c) Estructura laminar (d) Estructura tridimensional que permite un huésped tridimensional ..... | 41  |
| Ilustración 7: Reacciones de (a) descarga y (b) carga de una célula electroquímica .....                                                                                                                                                                | 42  |
| Ilustración 8: Batería Ontility EBHV 10kWh.....                                                                                                                                                                                                         | 45  |
| Ilustración 9: Dimensiones batería Ontility EBHV 10kWh .....                                                                                                                                                                                            | 46  |
| Ilustración 10: Inversor híbrido utilizado .....                                                                                                                                                                                                        | 46  |
| Ilustración 11: Dimensiones batería Ontility EBHV 10kWh .....                                                                                                                                                                                           | 51  |
| Ilustración 12: Diagrama de la electrólisis del agua .....                                                                                                                                                                                              | 57  |
| Ilustración 13: Tanque SLUN.....                                                                                                                                                                                                                        | 60  |
| Ilustración 14: Generador SUCCESS QL-500.....                                                                                                                                                                                                           | 61  |
| Ilustración 15: Compresor escogido .....                                                                                                                                                                                                                | 63  |
| Ilustración 16: Inversor híbrido utilizado .....                                                                                                                                                                                                        | 65  |
| Ilustración 17: Tanque SLUN.....                                                                                                                                                                                                                        | 71  |
| Ilustración 18: Generador SUCCESS QL-500.....                                                                                                                                                                                                           | 72  |
| Ilustración 19: Compresor escogido .....                                                                                                                                                                                                                | 73  |
| Ilustración 23: Disposición de la batería de vanadio .....                                                                                                                                                                                              | 91  |
| Ilustración 24: Partes del reactor: (1) Membrana (2) Electrodo (3) Marco (4) Placa bipolar (5) Placa de cierre .....                                                                                                                                    | 91  |
| Ilustración 25: tanque de 1000 L utilizado .....                                                                                                                                                                                                        | 94  |
| Ilustración 26: tanque Slimline de 100 L .....                                                                                                                                                                                                          | 95  |
| Ilustración 28: Batería de vanadio 10 kW 100 kWh.....                                                                                                                                                                                                   | 100 |
| Ilustración 30: ODS 7 .....                                                                                                                                                                                                                             | 122 |
| Ilustración 31: ODS 9 .....                                                                                                                                                                                                                             | 122 |
| Ilustración 32: ODS 11 .....                                                                                                                                                                                                                            | 122 |
| Ilustración 33: ODS 12 .....                                                                                                                                                                                                                            | 122 |
| Ilustración 34: ODS 13 .....                                                                                                                                                                                                                            | 123 |

## Índice de tablas

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Esquema de trabajo seguido .....                                          | 8  |
| Tabla 2: Resultados para un consumo diario medio de 10 kWh .....                   | 9  |
| Tabla 3: Resultados para un consumo diario medio de 100 kWh .....                  | 10 |
| Tabla 4: Work plan.....                                                            | 13 |
| Tabla 5: Results for an average daily consumption of 10 kWh .....                  | 14 |
| Tabla 6: Results for an average daily consumption of 100 kWh.....                  | 15 |
| Tabla 7: Características batería Ontility EBHV 10kWh .....                         | 45 |
| Tabla 8: Características del inversor escogido .....                               | 47 |
| Tabla 9: Costes de inversión .....                                                 | 48 |
| Tabla 10: Viabilidad económica Batería de litio 10 kWh .....                       | 49 |
| Tabla 11: Características batería Ontility EBHV 10kWh .....                        | 50 |
| Tabla 12: Especificaciones del inversor seleccionado .....                         | 51 |
| Tabla 13: Costes de inversión .....                                                | 53 |
| Tabla 14: Viabilidad económica Batería de litio 100 kWh.....                       | 54 |
| Tabla 15: Características del tanque escogido .....                                | 61 |
| Tabla 16: Características del generador por electrólisis .....                     | 62 |
| Tabla 17: Características de la pila de combustible .....                          | 63 |
| Tabla 18: Características del compresor elegido .....                              | 64 |
| Tabla 19: Características del inversor escogido .....                              | 65 |
| Tabla 20: Costes de inversión .....                                                | 66 |
| Tabla 21: Características del ventilador escogido.....                             | 68 |
| Tabla 22: Costes de seguridad del almacenamiento de hidrógeno .....                | 68 |
| Tabla 23: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh .....            | 69 |
| Tabla 24: Características del tanque escogido .....                                | 71 |
| Tabla 25: Características del generador por electrólisis .....                     | 72 |
| Tabla 26: Pila de combustible escogida .....                                       | 73 |
| Tabla 27: Características del compresor elegido .....                              | 74 |
| Tabla 28: Especificaciones del inversor seleccionado .....                         | 75 |
| Tabla 29: Costes de inversión .....                                                | 76 |
| Tabla 30: Características del ventilador escogido .....                            | 78 |
| Tabla 31: Costes de seguridad del almacenamiento de hidrógeno .....                | 78 |
| Tabla 32: Resultados económicos del almacenamiento en hidrógeno para 100 kWh ..... | 79 |
| Tabla 33: Características del volante de inercia M32 .....                         | 82 |
| Tabla 34: Especificaciones del inversor seleccionado .....                         | 83 |
| Tabla 35: Costes de inversión .....                                                | 84 |
| Tabla 36: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh .....            | 85 |
| Tabla 37: Características del volante de inercia M32 .....                         | 86 |
| Tabla 38: Especificaciones del inversor seleccionado .....                         | 87 |
| Tabla 39: Costes de inversión .....                                                | 88 |
| Tabla 40: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh .....            | 89 |
| Tabla 41: Características batería de vanadio .....                                 | 94 |
| Tabla 42: Características del tanque utilizado .....                               | 95 |

---

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 43: Características del tanque Slimline de 100 L .....                   | 96  |
| Tabla 44: Especificaciones del inversor seleccionado .....                     | 96  |
| Tabla 45: Costes de inversión .....                                            | 98  |
| Tabla 46: Inversión inicial batería de vanadio de 10 kWh .....                 | 98  |
| Tabla 47: Viabilidad económica batería de vanadio de 10 kWh .....              | 99  |
| Tabla 48: Características de la batería de vanadio escogida para 100 kWh ..... | 100 |
| Tabla 49: Especificaciones del inversor seleccionado .....                     | 101 |
| Tabla 50: Costes de inversión .....                                            | 102 |
| Tabla 51: Viabilidad económica batería de vanadio de 10 kWh .....              | 103 |
| Tabla 52: Comparativa de las tecnologías para 10 kWh .....                     | 106 |
| Tabla 53: Comparativa de las tecnologías para 100 kWh .....                    | 108 |
| Tabla 54: Cronología del proyecto .....                                        | 124 |



# Capítulo 1: Introducción y planteamiento del proyecto

---

## **1.1 Introducción**

Las transformaciones socioeconómicas que han acontecido a lo largo de la historia, como las revoluciones industriales, han cambiado la manera que tiene el ser humano de relacionarse con el medio ambiente y con los recursos del planeta. Los avances tecnológicos han permitido utilizar nuevos métodos en la producción de bienes, como puede ser el uso del ferrocarril para el transporte de recursos. Estos métodos han permitido aumentar la producción exponencialmente. Este desarrollo ha traído consigo una mayor necesidad de los recursos del planeta, así como una mayor cantidad de subproductos al aumentar la producción de las fábricas.

El uso de combustibles fósiles permitió a la sociedad desarrollarse a un ritmo nunca visto, pero trajo consigo un aumento en la producción de gases que contribuyen al efecto invernadero. El uso de nuevos materiales en la producción produjo que nuevos subproductos se formaran, llegando a contaminar los ríos, el suelo y el aire. Las consecuencias de estas contaminaciones en los siglos pasados siguen suponiendo un reto en la actualidad, y no conseguir resolver esta problemática podría traer efectos graves e irreversibles para nuestra sociedad. Algunas de las implicaciones son: la pérdida de biodiversidad, la destrucción de la capa de ozono y el aumento del efecto invernadero.

En 1713, Hans Carlowitz desarrolló una teoría para poder utilizar los árboles como fuente de energía, y planteó la hipótesis de que el uso de árboles no podía superar a la reproducción de los bosques. En 1798, Thomas Malthus publicó un ensayo en el que defendía que la población estaba creciendo más rápido que los recursos del planeta, por lo que no le daba al planeta tiempo de regenerarse. De esta problemática surge el concepto de la sostenibilidad.

La sostenibilidad busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer a las generaciones futuras. Esta premisa debe cumplirse sin renunciar a la protección del medio ambiente, al crecimiento económico y al desarrollo social. Para hacer frente a este desafío, se debe regular el uso de recursos no renovables, para evitar su ausencia en el futuro y la problemática que podría traer depender de un recurso del que se carece.

Para poder afrontar este problema, se necesita la colaboración del mayor número de países posible, por lo que han surgido numerosos acuerdos para poder gestionar los recursos del planeta de forma sostenible. La ONU creó en 2015 la Agenda 2030, en el que se establecen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constan de diecisiete metas para el año 2030 que deben cumplir los países para proteger el planeta, erradicar la pobreza y asegurar la prosperidad para todos.

Para poder proteger el planeta, es necesario que no solo los gobiernos tomen medidas para ello, sino que también deben las empresas privadas y la sociedad civil tomar acción para poder mitigar el daño al medioambiente. Una de las maneras en las que el individuo puede ayudar a reducir los efectos del cambio climático es mediante el uso de energías renovables.

El uso de energías renovables reduce el uso de fuentes de energía no renovables, lo que ayuda a gestionar de una manera mejor el uso de los recursos limitados del planeta. Se realizará un análisis comparativo de diferentes tecnologías de almacenamiento de energía. Estos sistemas ayudarían a almacenar energía producida por fuentes de energía renovables, lo que ayudaría a gestionar mejor los recursos no renovables como el gas o el petróleo. Estas dos posibilidades ayudarían a aplanar la curva de la demanda y a hacer un mayor uso de las energías renovables. Reducir el uso de estos combustibles no renovables es crucial para el planeta debido a que su uso conlleva al aumento del efecto invernadero, lo que contribuye al calentamiento global. Los efectos secundarios de la combustión no solo afectan al calentamiento global, sino que también tienen efectos nocivos para la salud.

Las tecnologías que se analizarán para el almacenamiento de energía en edificios sostenibles son: la batería de litio, el almacenamiento de hidrógeno, el volante de inercia y la batería de vanadio.

## ***1.2 Planteamiento del problema***

El objetivo del estudio es identificar las tecnologías de almacenamiento de energía idóneas para edificios sostenibles, según las necesidades del edificio. Para poder estandarizar el análisis, se realizará la comparativa para dos casos diferentes.

El primer caso consistirá en una vivienda unifamiliar con un consumo medio diario de 10 kWh, mientras que el segundo caso consistirá en elegir la tecnología idónea para un módulo con un consumo medio diario de 100 kWh, para poder adaptar el análisis a edificios de diferentes tamaños. Estos dos casos pretenden abarcar las diferentes necesidades de los usuarios potenciales de dichos métodos de almacenamiento. Se supondrá para ambos casos que la vivienda y el módulo se encuentran en España.

En el caso del módulo de 100 kWh de consumo medio diario, se tendrá en cuenta el coste de oportunidad del espacio empleado para el sistema de almacenamiento debido a las diferentes escalabilidades de las tecnologías. En el caso de una vivienda unifamiliar de 10 kWh, el espacio utilizado no tendrá la misma relevancia, siempre y cuando las diferentes tecnologías tengan unos requerimientos de espacio similares.

Se llevará a cabo un análisis de cada sistema por separado, para poder después compararlos para cada caso. Para cada tecnología se tendrán en cuenta sus antecedentes, el fundamento técnico que sustenta a la tecnología, la historia de dicha tecnología, sus principales usos, sus ventajas e inconvenientes, su viabilidad y su viabilidad económica. Los diferentes objetivos serán:

- Estudio de las diferentes ventajas e inconvenientes.
- Estudio de los requisitos técnicos.
- Estimación económica de la instalación de cada tecnología para cada caso.
- Elección de las tecnologías óptimas para cada caso.

# Capítulo 2: Estado de la cuestión

Los diferentes métodos de almacenamiento de energía presentan diferentes estados de desarrollo e implementación, con alguna tecnología estando ampliamente desarrollada e implementada; mientras que otras de las tecnologías a estudiar no han conseguido demostrar su viabilidad económica, por lo que no forman parte del panorama energético actual.

A continuación, se mostrarán los diferentes estados de desarrollo que presentan los diferentes métodos de almacenamiento de energía.

## ***2.1 Batería de litio***

La batería de litio es la tecnología más desarrollada e implementada en el panorama energético actual. El litio es utilizado principalmente como cátodo de la batería en la carga, aunque se están desarrollando baterías cuyo ánodo es el litio o baterías cuyo electrolito es el litio.

Las características que se tienen en cuenta a la hora de elegir una batería de litio u otra son la densidad de energía de la batería (Wh/l), la energía específica (Wh/kg), la densidad de potencia (W/l), la potencia específica (W/kg), los ciclos de recarga, el rendimiento de la batería, el tiempo de recarga, la estabilidad térmica y el coste, en €/kWh. Estas características son esenciales para la elección de la batería óptima para cada caso debido a que, en ciertas aplicaciones, como el vehículo eléctrico; tienen especial peso ciertas características, como puede el peso específico. Las principales tecnologías empleadas en las baterías de litio como cátodo son: LCO, LMO, LFP, NCA y NMC.

La batería de óxido de litio y cobalto (LCO) destaca principalmente por su elevada energía específica y densidad de energía. Sus principales inconvenientes son su inestabilidad térmica, su bajo número de ciclos de recarga, su elevado coste y los problemas medioambientales ligados a la extracción de cobalto. Entre sus principales usos se encuentran los ordenadores portátiles, los teléfonos móviles y las cámaras fotográficas.

La batería de óxido de litio y manganeso (LMO) destaca por su elevada potencia específica y su elevado número de ciclos de recarga. El principal problema que presentan estas baterías es su baja densidad de energía. Esta batería permite entregar más potencia, pero no es óptima si se desea almacenar mucha energía, por lo que se utiliza principalmente en bicicletas eléctricas, en vehículos híbridos y en herramientas eléctricas.

La batería de fosfato de litio y hierro (LFP) posee una energía específica baja, pero tiene una estabilidad térmica elevada, un número de ciclos de recarga elevado y un bajo coste. Estas ventajas hacen que sea una batería segura, por lo que entre sus principales usos se encuentra el almacenamiento de energía estacionario y los vehículos pesados, como los autobuses.

La batería de óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA) tiene la energía específica más elevada que, unido a su alta potencia específica y su número de ciclos de recarga, hacen que esta batería utilice a la hora de fabricar vehículos eléctricos.

La batería de óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto (NCM) es la batería más utilizada en el vehículo eléctrico debido a su alta energía, alta potencia, elevada estabilidad térmica y a su elevado número de ciclos de recarga. Este método de almacenamiento de energía también es utilizado en almacenamiento estacionario y en electrónica portátil.

Lithium Australia ha anunciado una batería segura, barata y duradera; la batería de ferrofosfato de litio y manganeso (LMFP). Además de las tecnologías mencionadas anteriormente, existen nuevas tecnologías en desarrollo que se prevé que entraran en el mercado en los próximos años. LG Energy Solutions ha anunciado una batería basada en el níquel, cobalto, manganeso y aluminio; la batería NCMA.

La batería de ion-litio sigue en constante evolución, debido a que alterar la proporción de los diferentes metales cambia las características de la batería. No solo se investiga la composición del ánodo, sino que también se investiga el cambio de cátodo o del electrolito. Una de las vías que está siguiendo la investigación y desarrollo de batería de litio es la de sustituir el electrolito líquido por uno sólido.

Estas baterías en estado sólido tendrían un elevado nivel de energía específica, un mayor número de ciclos de carga, una mayor estabilidad térmica, un menor tiempo de carga y una menor inflamabilidad de la batería. Nissan ha anunciado que antes del 2028 lanzarán al mercado un vehículo basado en baterías sólidas y Mercedes-Benz utilizará una batería en estado sólido, la batería Solstice.

## ***2.2 Almacenamiento de hidrógeno***

El almacenamiento de hidrógeno se presenta como una de las alternativas a las baterías de litio, que presentan ciertos desafíos, como la sostenibilidad de la extracción, el impacto ambiental o la dificultad en su reciclaje. El almacenamiento de hidrógeno se utiliza actualmente y posee métodos de almacenamiento ya implementados desde hace años. Algunas formas de almacenar hidrógeno están siendo implementadas recientemente y otras siguen en desarrollo y se prevé que llegarán al mercado en los próximos años. Los métodos actualmente implementados son el almacenamiento en estado gaseoso a alta presión y el almacenamiento en estado líquido a baja temperatura. Los métodos en desarrollo son el almacenamiento en materiales sólidos, el uso de materiales químicos avanzados y los nuevos métodos de conversión.

El almacenamiento en estado gaseoso a alta presión almacena el hidrógeno a una presión comprendida entre 200 y 700 bar. Es la tecnología que lleva más tiempo en el mercado, pero posee ciertos inconvenientes, como la baja eficacia de la conversión o la necesidad de mantener el hidrógeno a una alta presión.

El almacenamiento en estado líquido a baja temperatura enfría el hidrógeno a temperaturas cercanas al cero absoluto (0 K) y permite almacenar el hidrógeno en un menor volumen, aunque los esfuerzos necesarios para realizar la licuefacción del hidrógeno y el mantenimiento de las bajas temperaturas son elevados y conllevan una pérdida elevada de energía.

El almacenamiento en materiales sólidos desarrolla un método de almacenamiento de hidrógeno en el que metales absorben el hidrógeno, formando hidruros. Este método tiene una elevada densidad volumétrica y reduce significativamente el riesgo de fuga.

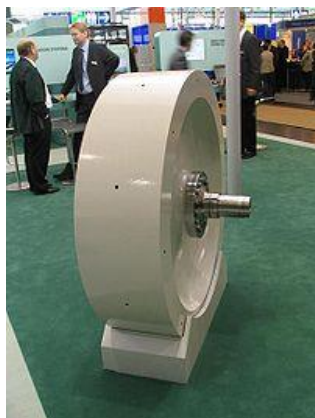
El uso de materiales químicos avanzados, como los líquidos portadores de hidrógeno (LOHCs), están siendo investigados debido a que proponen que el almacenamiento del hidrógeno se realice a una temperatura y presión normal. Esto abarataría los costes de conversión y de almacenamiento del hidrógeno, a la vez que aumentaría su seguridad.

Existen nuevos métodos de conversión que están siendo desarrollados actualmente, como el método Zero-Gap. Este método está siendo desarrollado por el Instituto de Investigación Energética de Corea (KIER), y promete transformar todo tipo de residuos en energía sin contaminar al no emitir dióxido de carbono como subproducto de la conversión. Se está investigando la creación de hidrógeno verde a partir de aguas residuales.

## ***2.3 Volante de inercia***

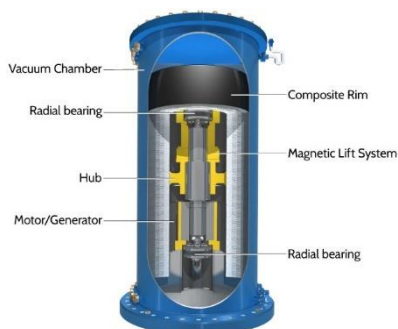
Esta tecnología consta de dos tipos de volantes de inercia, los volantes de baja velocidad y los volantes de alta velocidad. La investigación de este sistema de almacenamiento de energía se centra en nuevos materiales y diseños, en implementar nuevos sistemas de electrónica de potencia y en implementar sistemas híbridos.

Los volantes de inercia de baja velocidad funcionan por debajo de 10.000 rpm, y están hechos de materiales con alta resistencia y durabilidad, como el acero. Maximizan la inercia y minimizan la tensión con su forma de disco, y permiten el almacenamiento de energía en periodos de tiempo cortos; llegando a durar su descarga hasta varios minutos.



*Ilustración 1: Volante de inercia de acero*

Los volantes de inercia de alta velocidad funcionan en el rango de 10.000 – 100.000 rpm, y suelen estar formados de materiales con alta rigidez y con una baja densidad, como la fibra de carbono o la fibra de vidrio. Para minimizar la fuerza centrífuga y maximizar la densidad de energía, suelen tener forma de anillo; y permiten descargar energía por unas horas.



*Ilustración 2: Volante de inercia de fibra de carbono*

Actualmente, se están investigando nuevos materiales con el fin de aumentar la durabilidad, resistencia y rigidez de los volantes de inercia. Para poder mejorar las prestaciones de esta tecnología, se puede reducir el peso específico del volante de inercia y reducir el coste general. Los volantes de inercia se verán mejorados con los avances en electrónica de potencia, debido a que se podrá controlar mejor la carga y descarga de energía. Por último, el desarrollo de mejores sistemas de almacenamiento basados en volantes de inercia pasa por desarrollo de sistemas híbridos, que combinen esta tecnología con otras, como pueden ser las baterías de litio o los condensadores.

## **2.4 Batería de vanadio**

Las baterías de flujo de vanadio (BFV) están implementadas en el ámbito del almacenamiento de energía, aunque su desarrollo sigue en curso debido a la búsqueda de reducir costes y de mejorar el rendimiento de la batería. La batería de vanadio gana relevancia en la actualidad debido a su durabilidad, eficiencia y a su naturaleza no contaminante. La capacidad de las baterías recorre un amplio abanico. En 2024, se llevó a cabo la puesta en servicio de la mayor instalación de vanadio en Europa, en la planta fotovoltaica de Son Orlandis, en Mallorca. Esta batería tiene una potencia de 1,1 MW y una capacidad de 5,5 MWh.



*Ilustración 3: Batería de Vanadio en Son Orlandis, Mallorca*



# Capítulo 3: Análisis de las tecnologías

Se procederá a estudiar cada tecnología de las mencionadas anteriormente. Se repasará la historia de cada sistema de almacenamiento de energía, su fundamento técnico, sus principales usos y sus ventajas e inconvenientes. Se realizará un estudio de viabilidad y un estudio de viabilidad económica. Estos datos se utilizarán posteriormente para la elección idónea de cada tecnología para cada caso.

## **3.1 Batería de litio**

### **3.1.1 Historia**

Las baterías de ion litio llevan formando parte del panorama energético más de 50 años, desde su invención en 1972. El elemento llamado litio se descubrió en 1817 en Suecia por Johan August Arfvedson, pero la idea de utilizar el litio para poder almacenar energía no fue propuesta hasta 150 años después, por Stanley Whittingham. Whittingham se encontraba trabajando para la petrolera Exxon, y estudiaba la idea de insertar iones en la estructura atómica de ciertos metales para poder extraerlos después, consiguiendo así almacenar energía.

Whittingham utilizó materiales de intercalación en el ánodo y en el cátodo, utilizando titanio para el cátodo y litio para el ánodo, creando la primera batería de litio. Además, se utilizó también en el electrolito. Inicialmente, se iba a utilizar potasio para el ánodo, aunque esta idea se descartó debido a que era demasiado peligroso. Esta batería funcionaba a 2,4 V, llegando a duplicar a las baterías que existían en la época. Al haber usado materiales de intercalación, esta batería podía ser recargada. Esta batería se utilizó en un reloj, comercializado por la empresa Ebauches SA. Esta invención no revolucionó el mundo de las baterías en el momento, y la innovación se olvidó.



*Ilustración 4: Imagen de Stanley Whittingham*

No fue hasta 1980 que se mejoró la invención de Stanley Whittingham. John Goodenough, trabajando en la Universidad de Oxford, realizó un cambio a la batería de litio para mejorar sus características. Utilizó el óxido de cobalto y litio como cátodo, lo que permitió que la batería funcionase a 4 V. Esta nueva batería no interesó y Goodenough no encontró a ninguna empresa que quisiese comprar su patente, por lo que, finalmente, cedió sus derechos al laboratorio gubernamental de Harwell, Inglaterra, para proteger la patente. Esta patente quedó inactiva.

Ocho años después de patentar la nueva batería de óxido de cobalto y litio, la empresa Sony mostró interés por comprar la patente, debido a que pretendía utilizarla en una videocámara. Esta cámara, llamada Handyman, pretendía utilizar la patente de Goodenough para poder ser la cámara más liviana y tener una duración de uso mayor. El cátodo de óxido de cobalto de Goodenough sería utilizado en combinación con un ánodo de coque de petróleo, creado por el japonés Akira Yoshino. La cámara Handyman fue comercializada en 1991 y, tras su éxito, la nueva batería fue pronto utilizada en ordenadores portátiles y teléfonos móviles.

El uso de esta batería se fue extendiendo, llegando en 1998 a implementarse en un vehículo. Nissan creó el modelo Altra, el primer vehículo eléctrico con una batería de iones litio. Este hito demostró la viabilidad del coche propulsado por energía eléctrica, lo que llevó a un desarrollo del vehículo eléctrico hasta nuestros días, en los que el vehículo eléctrico está ampliamente implementado. El invento de la batería de ion-litio ha revolucionado la sociedad, por lo que, en 2019, se le concedió el Premio Nobel de Química a los tres científicos que ayudaron a la creación de la batería de ion-litio, Whittingham, Goodenough y Yoshino.



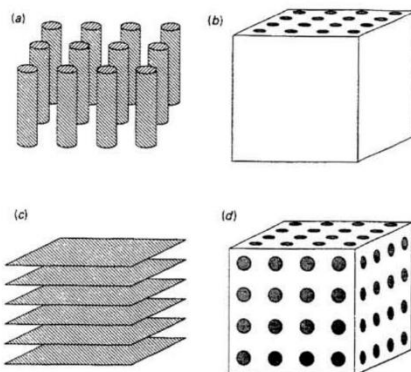
*Ilustración 5: Imagen del coche Nissan Altra*

La investigación y el desarrollo de esta batería fue importante en los años posteriores, variando los elementos que componen la batería y su proporción. Con estos cambios se fue aumentando la potencia y la energía de la batería, a la vez que se fue aumentando el número de ciclos de recarga de la batería. Estas y otras mejoras de prestaciones han contribuido a que la batería de ion-litio sea el método de almacenamiento de energía más utilizado en la actualidad.

### 3.1.2 Fundamento técnico

Las baterías de ion-litio utilizan la conversión de energía química en energía eléctrica. El lugar donde se realiza esta conversión es una célula electroquímica y, cuando se agrupan varias de estas células, se obtiene una batería. Si las células electroquímicas de una batería permiten invertir la conversión química-eléctrica sin que exista una degradación inmediata de la célula, la batería se considera una batería recargable.

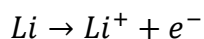
Las baterías de litio recargables se basan en el almacenamiento en energía electroquímica mediante la reacción de inserción. Esta reacción consta de un anfitrión y de un huésped. En ella, el huésped ocupa espacios libres en la estructura atómica del anfitrión. Es de vital importancia que el huésped no modifique de manera considerable la estructura del anfitrión, para que la reacción pueda darse a una baja temperatura y de una forma reversible. En una reacción de inserción, los tipos de redes más comunes que poseen los anfitriones son los siguientes: estructura en cadenas, estructura tridimensional con una red que permite un huésped con estructura unidimensional, estructura laminar y estructura tridimensional que permite un huésped con estructura tridimensional.



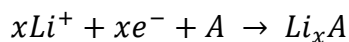
*Ilustración 6: Estructuras más frecuentes de anfitriones (a) Estructura en cadenas (b) Estructura tridimensional que permite un huésped unidimensional (c) Estructura laminar (d) Estructura tridimensional que permite un huésped tridimensional*

Las reacciones de inserción reversibles reciben el nombre de reacciones de intercalación, aunque este nombre se suele referir mayoritariamente a las reacciones de intercalación cuando el anfitrión tiene estructura laminar; debido a que este tipo de reacciones suelen ser reversibles.

La estructura de la célula consta de dos electrodos, un electrolito y un circuito externo que conecta a los dos electrodos entre sí. En las baterías actuales, el ánodo está constituido por litio metal, y el cátodo está formado por un material anfitrión que sea capaz de alojar al huésped, los iones de litio. Un cátodo utilizado es  $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ . En esta célula ocurren dos procesos diferenciados, la carga y la descarga. Durante la descarga se transforma la energía electroquímica en energía eléctrica. En la descarga, se oxida el litio en el ánodo mediante la siguiente reacción:



El ion litio va hacia el cátodo a través del electrolito y el electrón resultante en la oxidación llega al cátodo a través del circuito externo. En el cátodo se produce la inserción del huésped en el anfitrión y se produce la reacción de reducción siguiente:



Esta reacción es la que ocurre de manera natural y, la corriente producida por esta reacción es la que se utiliza como energía eléctrica. Para poder realizar la carga de la batería, se debe tener en cuenta que la reacción no es espontánea, por lo que se necesitará un aporte de energía eléctrica para generar una corriente inversa a la que ocurre de manera natural. La oxidación produce la liberación del huésped del anfitrión, produciendo que el ion litio viaje a través del electrolito al litio metal y, reacciona con el electrón que viaja a través del circuito externo para formar litio metal. A continuación, se muestra un diagrama de las reacciones de carga y descarga de una célula electroquímica:

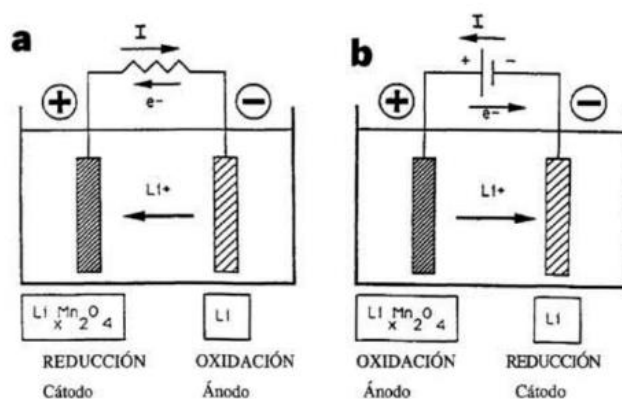


Ilustración 7: Reacciones de (a) descarga y (b) carga de una célula electroquímica

Una característica para tener en cuenta en una batería es la capacidad, que indica la energía eléctrica que puede almacenarse en una batería. La capacidad puede ser expresada de la siguiente manera:

$$C = nzF$$

Donde  $n$  es el número de moles de la especie que reacciona,  $z$  es el número de moles que recorren el circuito externo y  $F$  es la constante de Faraday.

Otra característica importante es la potencia específica ( $\text{W/kg}$ ), que indica la velocidad con la que la batería puede descargar la energía almacenada. La potencia suele estar limitada por la difusión del ion litio en el electrodo positivo, por lo que, si se desea aumentar la potencia, se debe aumentar el coeficiente de difusión de litio en el electrodo.

Según las necesidades de la batería se utilizan diferentes materiales para su fabricación, debido a que diferentes aleaciones producen baterías con diferentes características. Se pueden requerir baterías con una alta capacidad que no necesiten entregar una potencia elevada o, por el contrario, baterías con una alta potencia que no necesiten almacenar la energía durante un tiempo elevado.

### 3.1.3 Principales usos

Las baterías de ion-litio cuentan con una amplia presencia en la sociedad y sus aplicaciones son variadas y numerosas, debido a su peso, tamaño, densidad de energía y número de ciclos de recarga. Los principales usos que tienen son los siguientes:

- Dispositivos portátiles, incluyendo ordenadores portátiles, teléfonos móviles, tablets, auriculares bluetooth y relojes inteligentes; entre otros.
- Automóviles y motocicletas eléctricos
- Bicicletas y patinetes eléctricos
- Sistemas de seguridad, incluyendo alarmas, detectores de humo y detectores de monóxido de carbono; entre otros.
- Dispositivos médicos, incluyendo marcapasos, estimuladores gástricos, herramientas quirúrgicas, desfibriladores, audífonos, termómetros y monitores; entre otros.
- Mandos inalámbricos
- Calculadoras
- Almacenamiento de energías renovables
- Cámaras
- Satélites

### 3.1.4 Ventajas e inconvenientes

El amplio uso de baterías de ion-litio se debe a las numerosas ventajas que posee esta tecnología frente a otras. Las tecnologías existentes anteriormente, como las baterías de hidruro de níquel o níquel-cadmio, vieron sus características sobrepasadas por la batería de litio. Algunas de las ventajas son las siguientes:

- Son ligeras y compactas
- Menor duración del tiempo de carga
- Mayor duración del tiempo de descarga
- Mayor densidad energética, lo que lleva a un menor peso y volumen para almacenar la misma cantidad de energía.
- Carencia de efecto de memoria. Esto implica que la batería puede ser cargada sin haber tenido que ser descargada completamente con anterioridad.
- Menores pérdidas de energía

Esta tecnología presenta ciertos inconvenientes que podrían hacer que, en un futuro, dejase de ser la tecnología más utilizada para un gran número de sus aplicaciones. Los principales problemas que enfrenta esta tecnología son los siguientes:

- Posee un coste elevado. El precio de los materiales utilizado y su complejidad en la elaboración hacen que las baterías de ion-litio sean costosas.
- Los ciclos de carga son limitados. La batería, a medida que se realizan ciclos de carga, se va degradando y va disminuyendo su rendimiento.
- Tienen un mayor riesgo de incendio. Las sobrecargas y el sobrecalentamiento pueden hacer que se produzca un incendio. Debido a la naturaleza de los materiales de la batería, este incendio puede calentarse a una gran velocidad y a una gran temperatura y es difícil de extinguir.
- Riesgos medioambientales. La extracción del litio y del cobalto, utilizados en la creación de las baterías, puede tener impacto negativo en el medioambiente. Además, al final de la vida útil de la batería, se pueden llegar a liberar sustancias tóxicas al medioambiente.

### **3.1.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh**

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación de una batería de ion-litio que suministre un consumo diario medio de 10 kWh. La batería escogida es la batería Ontility EB HV 10kWh 87V. Esta batería tiene una potencia de 9 kW y una capacidad de 10 kWh, por lo que cumple con el requisito de energía. Sus principales características se muestran a continuación:

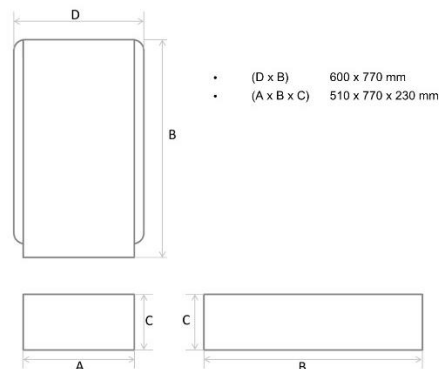


*Ilustración 8: Batería Ontility EBHV 10kWh*

| Atributo        | Valor                 |
|-----------------|-----------------------|
| Modelo          | EBHV 10kWh            |
| Tensión         | 79,2 - 101Vdc         |
| Intensidad      | 125A Carga / Descarga |
| Tipo de Batería | Litio                 |
| Color           | Blanco                |
| Peso            | 66 kg                 |
| Capacidad       | 115,64Ah (10kWh)      |
| Potencia        | 9000W                 |
| Dimensiones     | 770 x 600 x 230 mm    |

*Tabla 7: Características batería Ontility EBHV 10kWh*

Esta batería cuenta con un módulo inteligente de administración y control de baterías (BMS), que brinda protección contra sobrecargas, contra sobredescargas, contra cortocircuitos, contra sobrecorriente y contra sobretemperatura. Además, no necesita comunicación con inversores y se puede obtener la información de la batería en el móvil. Las dimensiones de la batería son las siguientes:



*Ilustración 9: Dimensiones batería Ontility EBHV 10kWh*

Para poder instalar correctamente este método de almacenamiento de energía, se debe instalar un inversor híbrido. Este inversor permitirá la carga de la batería mediante paneles fotovoltaicos o la red y además permitirá el volcado a la red.

El inversor elegido es el Inversor Híbrido Tensite 6kW Monofásico AH6M-2. Este inversor puede funcionar con la batería escogida y su potencia máxima es superior a la potencia de la batería, por lo que no limitaría a la batería. Sus características son las siguientes:



*Ilustración 10: Inversor híbrido utilizado*

| Atributo                        | Valor              |
|---------------------------------|--------------------|
| Pico de potencia del inversor   | 9000W              |
| Voltaje de trabajo              | 230V               |
| Potencia de salida continuada   | 6000W              |
| Rango de funcionamiento del MPP | 40V-530V           |
| Eficiencia                      | 97%                |
| Consumo en vacío del inversor   | 10W                |
| Peso del inversor               | 21,5 kg            |
| Dimensiones                     | 494 x 420 x 195 mm |

*Tabla 8: Características del inversor escogido*

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía con baterías de ion-litio en una vivienda. La factibilidad de esta tecnología está demostrada y la madurez de esta tecnología permite que sea cómoda la adquisición de los elementos necesarios para poder disponer de ella. El tamaño del inversor y de la batería no suponen una gran dificultad, pudiendo instalarse en el sótano de la vivienda ambas piezas. Sería necesario contar con un técnico que realizara la instalación de los elementos y el cableado necesario para poder conectar el sistema adecuadamente.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento típico de la batería del 95% para carga y descarga y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 10 kWh será:

$$\eta = 95\% * 97\% * 97\% = 89,34\%$$

$$Energía\ necesaria = 10\ kWh / 89,34\% = 11,19\ kWh$$

### 3.1.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con el mantenimiento. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de la batería, con el coste del inversor y con el coste del técnico que realice la instalación y el cableado necesario. Dentro del coste de instalación de cada tecnología, se tendrá en cuenta el posible coste por la redacción de proyecto, legalización en industria, posibles licencias urbanísticas o pagos de impuestos.

Se debe tener en cuenta el desecho de la batería al final de su vida útil. El Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, establece los procedimientos a seguir para deshacerse de las baterías de litio. Al tener la batería 10 kWh, se debe poner en manos de un gestor autorizado al final de su vida útil, para que proceda al reciclaje y a la eliminación de la batería. Se estiman los costes de reciclaje en 400€. No se estiman costes de mantenimiento dentro de los años de vida útil de la batería. Legalmente no se requiere un mantenimiento específico, por lo que el mantenimiento realizado constará de una inspección visual por parte del usuario mensualmente y una verificación de que los parámetros que se envían de la batería al teléfono móvil se encuentran dentro de los rangos esperados. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo                     | Coste      |
|------------------------------|------------|
| Batería Ontility EBHV 10kWh  | 2.420,00 € |
| Inversor Híbrido Tensite 6kW |            |
| Monofásico AH6M-2            | 1.207,58 € |
| Instalación                  | 400,00 €   |
| Total                        | 4.027,58 € |

Tabla 9: Costes de inversión

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 10 años sin valor residual, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 0 €.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$\text{Ahorro} = 10 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * (0,2017 - 0,1095) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 365 \text{ días} = 336,53 \text{ €}$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0       | Año 1    | Año 2    | Año 3    | Año 4    | Año 5    | Año 6    | Año 7    | Año 8    | Año 9    | Año 10     |
|-------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Ahorro energía    |             | 336,53 € | 346,63 € | 357,02 € | 367,74 € | 378,77 € | 390,13 € | 401,83 € | 413,89 € | 426,31 € | 439,10 €   |
| Desecho           |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          | - 400,00 € |
| Inversión inicial | -4.027,58 € |          |          |          |          |          |          |          |          |          |            |
| Flujo             | - 4.027,58  | 336,53 € | 346,63 € | 357,02 € | 367,74 € | 378,77 € | 390,13 € | 401,83 € | 413,89 € | 426,31 € | 39,10 €    |
| VAN               | - 1.057,94  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |            |
| TIR               | -3%         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |            |
| R                 | 3%          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |            |

Tabla 10: Viabilidad económica Batería de litio 10 kWh

Los resultados obtenidos muestran un valor actual neto negativo, por lo que el proyecto no se debería llevar a cabo si se estuviera atendiendo únicamente a un criterio económico.

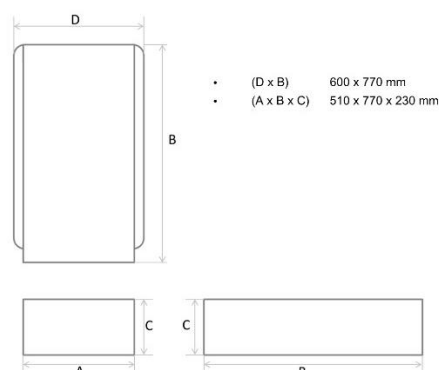
### 3.1.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh

Para el módulo de almacenamiento de energía de 100 kWh, se ha decidido utilizar diez baterías idénticas a la utilizada en el caso en el que se requiere un consumo medio de 10 kWh. Estas baterías estarán conectadas en paralelo. Los datos de la batería utilizada son los siguientes:

| Atributo        | Valor                 |
|-----------------|-----------------------|
| Modelo          | EBHV 10kWh            |
| Tensión         | 79,2 - 101Vdc         |
| Intensidad      | 125A Carga / Descarga |
| Tipo de Batería | Litio                 |
| Color           | Blanco                |
| Peso            | 66 kg                 |
| Capacidad       | 115,64Ah<br>(10kWh)   |
| Potencia        | 9000W                 |
| Dimensiones     | 770 x 600 x 230<br>mm |

Tabla 11: Características batería Ontility EBHV 10kWh

Esta batería cuenta con un módulo inteligente de administración y control de baterías (BMS), que brinda protección contra sobrecargas, contra sobredescargas, contra cortocircuitos, contra sobrecorriente y contra sobretemperatura. Además, no necesita comunicación con inversores y se puede obtener la información de la batería en el móvil. Las dimensiones de la batería son las siguientes:



*Ilustración 11: Dimensiones batería Ontility EBHV 10kWh*

Las baterías en paralelo necesitan un inversor que sea capaz de soportar su nueva potencia. Para ello, el nuevo inversor debe tener una potencia que le permita vaciar la batería con una velocidad adecuada; pero no se debe sobredimensionar el inversor para no incurrir en costes innecesarios.

Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Este inversor permitirá la carga de la batería mediante paneles fotovoltaicos o la red y además permitirá el volcado a la red. Con una potencia de 15kW se asegura que la descarga no se verá limitada por el inversor, debido a que el consumo de 100 kWh se realiza a lo largo de un día entero y no a la vez.

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

*Tabla 12: Especificaciones del inversor seleccionado*

El inversor seleccionado cuenta con una función para tener conectadas baterías en paralelo, pudiendo tener hasta 10 baterías en paralelo al mismo tiempo. El inversor cumple la norma EN50549-1, por lo que se puede convertir el usuario en prosumidor. Este término hace referencia al consumidor que es capaz de vender energía y volcarla a la red. Si el usuario quisiese poder vender la energía producida propiamente o almacenada de la red en periodos de bajo coste podría hacerlo sin tener que incurrir en modificaciones.

Se debe tener en cuenta el espacio utilizado para poder alojar las baterías. La ocupación en planta de cada batería es de 0,138 m<sup>2</sup>, por lo que las diez baterías en paralelo ocuparían más de 1,38 m<sup>2</sup>. Si se tienen en cuenta las dimensiones del inversor y que el cableado probablemente impida que las baterías estén colocadas ocupando el menor espacio posible, el área que ocupará el sistema de almacenamiento será de 3 m<sup>2</sup>, aproximadamente.

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía con baterías de ion-litio en un módulo con un consumo medio diario de 100 kWh. La factibilidad de esta tecnología está demostrada y la madurez de esta tecnología permite que sea cómoda la adquisición de los elementos necesarios para poder disponer de ella. El tamaño del inversor y de las baterías no suponen una gran dificultad, pudiendo instalarse en cualquier habitación o en un sótano. Sería necesario contar con un técnico que realizara la instalación de los elementos y el cableado necesario para poder conectar el sistema adecuadamente.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento típico de la batería del 95% para carga y descarga y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 100 kWh será:

$$\eta = 95\% * 97\% * 97\% = 89,34\%$$

$$Energía\ necesaria = 100\ kWh / 89,34\% = 111,90\ kWh$$

### 3.1.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh

Se deben calcular los costes totales que tendrá la tecnología; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con el mantenimiento. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de las baterías, con el coste del inversor y con el coste del técnico que realice la instalación y el cableado necesario.

Se debe tener en cuenta el desecho de la batería al final de su vida útil. El Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, establece los procedimientos a seguir para deshacerse de las baterías de litio. Al tener 10 batería de 10 kWh cada una, se deben poner en manos de un gestor autorizado al final de su vida útil, para que proceda al reciclaje y a la eliminación de las baterías. Se estiman los costes de reciclaje en 3200€. No se estiman costes de mantenimiento dentro de los años de vida útil de la batería. Legalmente no se requiere un mantenimiento específico, por lo que el mantenimiento realizado constará de una inspección visual por parte del usuario mensualmente y una verificación de que los parámetros que se envían de la batería al teléfono móvil se encuentran dentro de los rangos esperados. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo                                                                   | Coste              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 10 Baterías Ontility EBHV 10kWh                                            | 24.200,00 €        |
| DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 Monofásico AH6M-2 | 2.479,00 €         |
| Instalación                                                                | 1.500,00 €         |
| <b>Total</b>                                                               | <b>28.179,00 €</b> |

*Tabla 13: Costes de inversión*

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 10 años sin valor residual, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 0 €.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$Ahorro = 100 \frac{kWh}{día} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 días = 3365,30 €$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0           | Año 1          | Año 2          | Año 3          | Año 4          | Año 5          | Año 6          | Año 7          | Año 8          | Año 9          | Año 10              |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| Ahorro energía    |                 | 3.365,3<br>0 € | 3.466,2<br>6 € | 3.570,2<br>5 € | 3.677,3<br>5 € | 3.787,6<br>7 € | 3.901,3<br>1 € | 4.018,3<br>4 € | 4.138,8<br>9 € | 4.263,0<br>6 € | 4.390,9<br>5 €      |
| Desecho           |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                | -<br>3.200,0<br>0 € |
| Inversión inicial | -28.179€        |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                     |
| Flujo             | 28.179,0<br>0 € | 3.365,3<br>0 € | 3.466,2<br>6 € | 3.570,2<br>5 € | 3.677,3<br>5 € | 3.787,6<br>7 € | 3.901,3<br>1 € | 4.018,3<br>4 € | 4.138,8<br>9 € | 4.263,0<br>6 € | 1.190,9<br>5 €      |
| VAN               | 2.112,72<br>€   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                     |
| TIR               | 4%              |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                     |
| R                 | 3%              |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                     |

Tabla 14: Viabilidad económica Batería de litio 100 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de una batería de litio para el almacenamiento de energía resultaría rentable y la inversión se debería llevar a cabo si no hubiera otros proyectos con los que se estuviera debatiendo su ejecución.

---

## 3.2 Almacenamiento de hidrógeno

### 3.2.1 Historia

El almacenamiento de energía en forma de hidrógeno utiliza el elemento más abundante del universo como método de almacenamiento de energía. La utilización de este sistema comienza en el siglo XVI, cuando se describe el hidrógeno como un líquido inflamable, aunque no es hasta el siglo XVIII, en el que Henry Cavendish lo identifica como un elemento químico. En el año 1783, Antoine Lavoisier le da el nombre de hidrógeno y descubre que su combustión produce agua. En el año 1800, se produce la primera electrólisis al aplicar energía eléctrica al agua. Este proceso da lugar a la formación de hidrógeno y de oxígeno.

En el año 1807 se desarrolla el primer motor de combustión. Este motor estaba basado en la combustión del hidrógeno. En 1839, William Robert Grove desarrolló la inversión de la hidrólisis del agua para poder generar energía eléctrica. Este invento no fue utilizado hasta ochenta años después, cuando se desarrollaron los primeros vehículos de pila de combustible. Veinte años después, se utilizó esta tecnología para desarrollar un montacargas.

Un hito en el uso de hidrógeno para el almacenamiento es la licuación del hidrógeno. Esta invención de 1898, por James Dewar, permitió revolucionar el almacenamiento y transporte de hidrógeno. Diez años después de la invención de la licuación, los Zeppelines volaban comercialmente, llegando a cruzar el Atlántico sin tener que realizar paradas en 1919. En 1962, se anunció que el programa espacial Gemini, predecesor del programa espacial Apolo, utilizaría celdas de hidrógeno para suministrar electricidad y agua y para propulsar los cohetes utilizados.

Durante la segunda mitad del siglo XX, se desarrolla la idea de que se utilice el hidrógeno como alternativa al gas y al petróleo. Se empiezan a desarrollar plantas propulsadas por energías renovables para la creación de hidrógeno y muchos países se interesan por esta tecnología que se postula como la principal candidata a sustituir a los combustibles no renovables. En España, se crea la Asociación Española del Hidrógeno en el año 2002 y en el año 2007, se crea el Centro Nacional del Hidrógeno.

En 2003 llega el primer avión propulsado por hidrógeno, en el año 2004 llega el primer autobús; y el primer coche propulsado por hidrógeno llega en el año 2009.

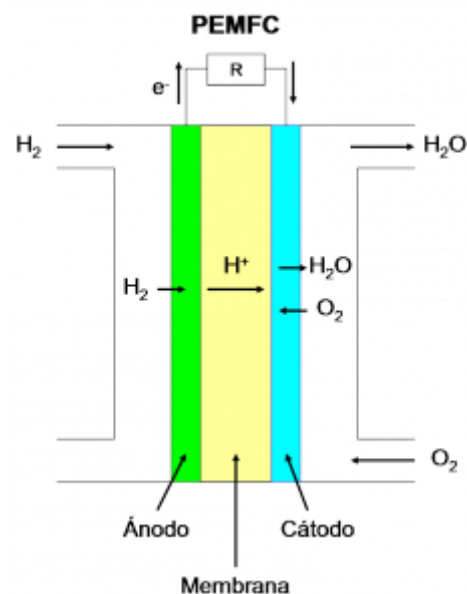
### 3.2.2 Fundamento técnico

El almacenamiento de energía en forma de hidrógeno está en desarrollo y hay varias formas de producirlo y almacenarlo. El hidrógeno es el combustible con mayor potencial energético por unidad de masa, pero al tener una densidad baja, se necesita mucho volumen para poder almacenar una cantidad considerable de energía. Por ello se almacena principalmente en forma de gas comprimido. Este método utiliza botellas que permiten su almacenamiento a presiones elevadas. Estos tanques deben estar especialmente preparados para almacenar hidrógeno, debido a que el metal puede sufrir una permeabilización del hidrógeno, lo que afecta a su ductilidad. También es posible almacenar el hidrógeno a gran escala en yacimientos de gas natural, antiguos acuíferos o cavernas de sal.

Otra forma de almacenar el hidrógeno es en forma de hidrógeno líquido. Este método permite obtener una densidad energética mayor que mediante el almacenamiento en gas comprimido. Este método tiene unos elevados costes debido a la licuefacción y al mantenimiento de la baja temperatura.

Hay varias maneras de generar hidrógeno. El tipo de combustible utilizado para su generación cambia el tipo de hidrógeno obtenido. El método más sostenible de obtención de hidrógeno es la electrólisis del agua para la obtención de hidrógeno verde.

El electrolizador más utilizado, debido a que produce hidrógeno de alta calidad, es el electrolizador de membrana de intercambio de protones. Estos electrolizadores utilizan una membrana de intercambio de protones y un electrolito sólido. Al aplicar una corriente, el agua se divide en protones y oxígeno, y los protones viajan a través de la membrana para formar hidrógeno en el cátodo. Este hidrógeno se puede utilizar en la combustión o en la descarga de la pila de combustible, mediante la electrólisis inversa.



*Ilustración 12: Diagrama de la electrólisis del agua*

### 3.2.3 Principales usos

Sus principales usos se encuentran en la industria química, en la industria aeroespacial y en la industria del transporte. El hidrógeno se utiliza en la síntesis del amoníaco, en procesos de refinería y en el tratamiento del carbón. También se utiliza para el transporte como combustible aeroespacial o de vehículos.

### 3.2.4 Ventajas e inconvenientes

La principal ventaja del hidrógeno como sistema de almacenamiento de energía es que es una fuente de energía renovable y limpia. La combustión del hidrógeno no produce gases de efecto invernadero y, si se utiliza energía renovable para su producción, no se generan efectos tóxicos para el medio ambiente en su producción. El hidrógeno además no es tóxico ni corrosivo.

La principal desventaja del almacenamiento de hidrógeno es su dificultad de almacenamiento. El bajo tamaño del hidrógeno y su elevado volumen específico dificultan su almacenamiento. Los costes actuales de la producción del hidrógeno son un impedimento actualmente. A medida que la tecnología se desarrolle, se prevé que los costes se reducirán. Otra desventaja de este sistema de almacenamiento está relacionada con la seguridad. El hidrógeno, al ser inoloro e inodoro es difícil de detectar. Esto, sumado a la alta inflamabilidad del gas, hace que el hidrógeno sea un gas peligroso con una alta probabilidad de producir explosiones.

### 3.2.5 Implicaciones legales de almacenar hidrógeno

El almacenamiento de hidrógeno necesita cumplir con ciertas normativas, debido a que está catalogado como peligroso, por lo que tiene que estar controlado por las entidades reguladoras.

El hidrógeno es peligroso debido a su naturaleza altamente inflamable. Es capaz de formar explosiones con un abanico grande de concentraciones con el aire. Una chispa pequeña puede desencadenar en una explosión de hidrógeno. El hidrógeno también es considerado peligroso debido a su dificultad de almacenamiento. Su reducido tamaño hace que sea propenso a producirse fugas en este tipo de almacenamiento de energía. Esto, sumado a que es inodoro, inodoro e insípido; hacen que sea difícil su detección hasta que se acumula una cantidad significativa y se produce la explosión.

Se debe tener en cuenta la presión a la que se almacena el hidrógeno. Al solerse almacenar a presiones elevadas, se tiene que cumplir el Real Decreto 840/2015.

La regulación del hidrógeno se lleva a cabo principalmente por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y por la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC). Desde el año 1999 se han desarrollado cinco normas diferentes y, actualmente se están desarrollando doce nuevas normas.

Las consideraciones necesarias a la hora de almacenar hidrógeno son las siguientes:

- El personal que vaya a trabajar con hidrógeno debe estar formado en sus riesgos, así como en los procedimientos necesarios y la respuesta ante una emergencia.
- Se deben instalar sistemas de detección de fugas que sean lo suficientemente sensibles como para que no se produzcan concentraciones de hidrógeno fuera de los tanques.
- La ventilación tiene que evitar la concentración de hidrógeno, especialmente en aquellas zonas en las que sea más propensa su concentración.
- Se deben cumplir las regulaciones impuestas en el Real Decreto 06/2022, en el que se regula a transportistas, distribuidores, comercializadores y consumidores de gas natural al suministro de hidrógeno verde.
- Se debe contar con equipos y herramientas certificados para trabajar con hidrógeno de manera segura.
- Se debe realizar un mantenimiento regular de las instalaciones.
- Se debe proporcionar material de protección a aquellas personas que trabajen en la instalación.
- Se debe desarrollar un plan de emergencia detallado.

El cumplimiento de estas medidas dificulta la posibilidad de que una persona disponga de este sistema de almacenamiento de energía en su vivienda para uso personal, debido a los riesgos que conlleva y a las dificultades para cumplir las normativas vigentes.

### **3.2.6 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh**

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación del almacenamiento de hidrógeno que suministre un consumo diario medio de 10 kWh. Se necesitarán los siguientes elementos: tanque de almacenamiento de hidrógeno, generador de hidrógeno por electrólisis, pila de combustible de hidrógeno y un compresor de hidrógeno.

Para elegir el tanque es necesario calcular el volumen del tanque a la presión deseada. Debido a que utilizar presiones elevadas, como 500 bar, supone un coste muy elevado y un riesgo añadido; se ha optado por elegir almacenar el tanque a baja presión. Se ha escogido una presión de 30 bar.

Si se hubiera decidido almacenar el hidrógeno en estado líquido, los costes habrían sido elevados. Se ha optado por minimizar los costes y emplear el espacio del sótano de la vivienda. Debido a los rendimientos del sistema, se ha tomado como referencia de almacenamiento un consumo de 20 kWh. Se utilizarán los siguientes datos para calcular el volumen del tanque:

- Energía específica del hidrógeno: 33,33 kWh/kgH<sub>2</sub>

$$KgH_2 = \frac{20}{33,33} = 0,6 KgH_2$$

Para calcular la densidad del hidrógeno a 30 bar y 20 °C , se han utilizado los siguientes datos:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} = \frac{3.000.000 * 2,016}{8,314 * 293} = 2482 \frac{g}{m^3} = 2,48 Kg/m^3$$

El volumen del tanque necesario es:

$$V = \frac{0,6}{2,48} = 0,24194 m^3 = 241,94 L$$

Se han escogido 5 tanques de la marca Alsafe y modelo LW-250-50.0-20-H; y sus características son las siguientes:



*Ilustración 13: Tanques Alsafe*

| Atributo           | Valor                  |
|--------------------|------------------------|
| Número de Modelo   | LW-250-50.0-20-H       |
| Lugar del origen   | Liaoning, China        |
| Marca              | Alsafe                 |
| Dimensión (LWH)    | 250mm * 250mm * 1500mm |
| Certificado        | ISO7866 o GB11640      |
| Diámetro exterior  | 250mm                  |
| Longitud total     | 1500mm                 |
| Presión de trabajo | 200bar                 |
| Color              | Gris                   |

Tabla 15: Características del tanque escogido

El generador de hidrógeno por electrólisis es el generador SUCCESS QL-500, y sus características son las siguientes:



Ilustración 14: Generador SUCCESS QL-500

| Característica                  | Descripción                           |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Marca                           | SUCCESS                               |
| Número de Modelo                | QL-500                                |
| Tasa de flujo de H <sub>2</sub> | 500 ml/min.                           |
| Pureza de H <sub>2</sub>        | 99999%                                |
| Presión                         | 4 bar (7 bar)                         |
| Certificado                     | CE;<br>ISO9001:2008                   |
| Fuente de alimentación          | 100 ~ 120V o<br>200 ~ 240V<br>50-60Hz |
| Dimensiones                     | 430 x 230 x<br>340 mm                 |
| Peso neto                       | 15 kg                                 |

*Tabla 16: Características del generador por electrólisis*

La pila de combustible de hidrógeno es de la marca Rufri y el modelo GC-RMZ-100, y sus principales características son las siguientes:

| Atributo             | Valor            |
|----------------------|------------------|
| Marca                | Rufri            |
| Lugar de origen      | China            |
| Número de Modelo     | GC-RMZ-100       |
| Tamaño de la batería | 1,5 kW           |
| Puerto de entrega    | Shanghái, Ningbo |
| Tipo de batería      | Sistema Stack    |
| Temperatura          | -40 a 55 °C      |
| Tensión nominal      | 27-300V          |

*Tabla 17: Características de la pila de combustible*

El compresor de 30 bar utilizado en la instalación es el siguiente:



*Ilustración 15: Compresor escogido*

| Característica     | Descripción                               |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Fabricante         | Atlas Copco                               |
| Rendimiento        | De 100 a 199 l/min                        |
| Tipo de compresor  | Compresor de pistón, lubricado con aceite |
| Tanque             | 0 litros                                  |
| Rendimiento        | 126 l/min                                 |
| Presión            | 30 bar                                    |
| Voltaje            | 400 V                                     |
| Potencia del motor | 1.5 kW                                    |
| Número de etapas   | 2                                         |
| Nivel de ruido     | 80 dB                                     |

*Tabla 18: Características del compresor elegido*

Debido al nivel de ruido del compresor, se instalarán 54 paneles de espuma acústica t.akustik SA-N30. Estos paneles costarán 327 € y se incluirán en el coste del compresor.

Para poder instalar correctamente este método de almacenamiento de energía, se debe instalar un inversor híbrido. El inversor elegido es el Inversor Híbrido Tensite 6kW Monofásico AH6M-2. Sus características son las siguientes:



*Ilustración 16: Inversor híbrido utilizado*

| Atributo                        | Valor              |
|---------------------------------|--------------------|
| Pico de potencia del inversor   | 9000W              |
| Voltaje de trabajo              | 230V               |
| Potencia de salida continuada   | 6000W              |
| Rango de funcionamiento del MPP | 40V-530V           |
| Eficiencia                      | 97%                |
| Consumo en vacío del inversor   | 10W                |
| Peso del inversor               | 21,5 kg            |
| Dimensiones                     | 494 x 420 x 195 mm |

*Tabla 19: Características del inversor escogido*

Una vez escogidos los elementos que formarán parte de la instalación, se debe tener en cuenta el espacio que ocupará la instalación. El área total que ocuparán los tres elementos es inferior a los 2 m<sup>2</sup>, por lo que, teniendo en cuenta que no se podrán colocar los tres elementos completamente juntos y que se requerirá de espacio para conductos y para el cableado, se puede estimar un área total necesaria de 5 m<sup>2</sup>.

Para calcular la energía necesaria para suministrar 10 kWh, se deben tener en cuenta los rendimientos de los diferentes componentes. El rendimiento de la pila de combustible es del 40 %, el rendimiento típico de un generador de hidrógeno mediante electrólisis roza el 60 %, mientras que el rendimiento típico de un compresor de 30 bar roza el 80% y el rendimiento del inversor es del 97%. Con estos datos se calcula la energía necesaria para dar 10 kWh:

$$\eta = 40\% * 70\% * 85\% * 97\% * 97\% = 22,4\%$$

$$Energía\ necesaria = 10\ kWh / 22,4\% = 44,64\ kWh$$

### 3.2.7 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con la venta al cabo de 10 años. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste del tanque de almacenamiento, con el coste del generador de hidrógeno mediante electrólisis, con el coste de la pila de combustible, con el coste del compresor y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo                                          | Coste             |
|---------------------------------------------------|-------------------|
| Tanque Alsafe                                     | 2.050,00 €        |
| Generador SUCCES QL-500                           | 1.400,00 €        |
| Compresor Atlas Copo                              | 2.688,08 €        |
| Pila de combustibleRufri                          | 900,00 €          |
| Inversor Híbrido Tensite 6kW<br>Monofásico AH6M-2 | 1.207,58 €        |
| Instalación                                       | 800,00 €          |
| <b>Total</b>                                      | <b>9.045,66 €</b> |

Tabla 20: Costes de inversión

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 10 años sin valor residual, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 0 €. Este valor residual nulo se aplicará al generador de hidrógeno mediante electrólisis, al compresor, al inversor y a la pila de combustible. Se supondrá que los tanques no se deprecian en 10 años, por lo que pueden ser vendidos por el mismo precio por el que fue comprado.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$Ahorro = 10 \frac{kWh}{día} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 días = 336,53 €$$

La estimación de costes de seguridad y mantenimiento para 10 kWh es la siguiente:

Se ha escogido un curso titulado: Curso Experto en Hidrógeno Verde de TÜV SÜD Academy. Este curso pretende formar a sus alumnos en los fundamentos y aplicaciones de las pilas de combustible y para ayudar a empresas en su descarbonización. La academia ofrece la posibilidad de adquirir un certificado en hidrógeno verde.

Se ha escogido como detector de fugas el Detector de fugas CrossLab CS Electronic Leak Detector, con dos segundos de tiempo de respuesta y 1,5 segundos de tiempo de verificación de ausencia de fugas.

El ventilador elegido es de la marca DRUM y el modelo es CFT-24. Tiene una potencia de 195 W. Sus características son las siguientes:

| Atributo                | Valor                    |
|-------------------------|--------------------------|
| Código                  | 048/0010007              |
| Caudal de aire          | 13.200 m <sup>3</sup> /h |
| Potencia eléctrica      | 195 W                    |
| Tensión de servicio     | 230V 50Hz                |
| Velocidades             | 3 velocidades            |
| Cable de corriente      | 18-mar                   |
| Revoluciones            | 1.100 rpm                |
| Diámetro del ventilador | 600 mm                   |
| Peso                    | 16 kg                    |
| Dimensiones             | 76x29x77 cm              |

Tabla 21: Características del ventilador escogido

Los costes de inversión asociados a la seguridad son los siguientes:

| Atributo                                               | Precio         |
|--------------------------------------------------------|----------------|
| Curso Experto en Hidrógeno Verde de TÜV SÜD Academy    | 2.150 €        |
| Detector de fugas CrossLab CS Electronic Leak Detector | 1.546 €        |
| Ventilador DRUM FAN CFT-24 195 W                       | 295 €          |
| <b>Total</b>                                           | <b>3.991 €</b> |

Tabla 22: Costes de seguridad del almacenamiento de hidrógeno

El mantenimiento constará de una visita de un técnico una vez al mes para asegurarse de que todo funciona correctamente. El coste de esta revisión será de 300 € al mes.

Los resultados de la inversión para el almacenamiento de energía en forma de hidrógeno para una vivienda con un consumo medio diario de 10 kWh son:

|                          | Año 0                | Año 1               | Año 2               | Año 3               | Año 4               | Año 5               | Año 6               | Año 7               | Año 8               | Año 9               | Año 10              |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Ahorro energía</b>    |                      | 336,53<br>€         | 346,63<br>€         | 357,02<br>€         | 367,74<br>€         | 378,77<br>€         | 390,13<br>€         | 401,83<br>€         | 413,89<br>€         | 426,31<br>€         | 439,10<br>€         |
| <b>Mantenimiento</b>     |                      | -<br>3.600,0<br>0 € | -<br>3.708,0<br>0 € | -<br>3.819,2<br>4 € | -<br>3.933,8<br>2 € | -<br>4.051,8<br>3 € | -<br>4.173,3<br>9 € | -<br>4.298,5<br>9 € | -<br>4.427,5<br>5 € | -<br>4.560,3<br>7 € | -<br>4.697,1<br>8 € |
| <b>Costes seguridad</b>  | -3.991,00<br>€       |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <b>Venta tanque</b>      |                      | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | - €                 | 2.050,0<br>0 €      |
| <b>Inversión inicial</b> | -9.045,66<br>€       |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <b>Flujo</b>             | -<br>13.036,6<br>6 € | -<br>3.263,4<br>7 € | -<br>3.361,3<br>7 € | -<br>3.462,2<br>2 € | -<br>3.566,0<br>8 € | -<br>3.673,0<br>6 € | -<br>3.783,2<br>6 € | -<br>3.896,7<br>6 € | -<br>4.013,6<br>6 € | -<br>4.134,0<br>6 € | -<br>2.208,0<br>8 € |
| <b>VAN</b>               | -<br>43.195,4<br>4 € |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <b>R</b>                 | <b>3%</b>            |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |

Tabla 23: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de hidrógeno para el almacenamiento de energía no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo debido a que el valor actual neto es negativo.

### 3.2.8 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación del almacenamiento de hidrógeno que suministre un consumo diario medio de 100 kWh. Se necesitarán los siguientes elementos: tanque de almacenamiento de hidrógeno, generador de hidrógeno por electrólisis y un compresor de hidrógeno.

Para elegir el tanque es necesario calcular el volumen del tanque a la presión deseada. Debido a que utilizar presiones elevadas, como 500 bar, supone un coste muy elevado y un riesgo añadido; se ha optado por elegir almacenar el tanque a baja presión. Se ha escogido una presión de 30 bar. Si se hubiera decidido almacenar el hidrógeno en estado líquido, los costes habrían sido elevados. Se ha optado por minimizar los costes y aumentar el espacio empleado por el módulo. Debido a los rendimientos del sistema, se ha tomado como referencia de almacenamiento un consumo de 200 kWh. Se utilizarán los siguientes datos para calcular el volumen del tanque:

- Energía específica del hidrógeno: 33,33 kWh/kgH<sub>2</sub>

$$KgH_2 = \frac{200}{33,33} = 6 KgH_2$$

Para calcular la densidad del hidrógeno a 30 bar y 20°C, se han utilizado los siguientes datos:

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} = \frac{3.000.000 * 2,016}{8,314 * 293} = 2482 \frac{g}{m^3} = 2,48 Kg/m^3$$

El volumen del tanque necesario es:

$$V = \frac{6}{2,48} = 2,41935 m^3 = 2419,35 L$$

Los tanques escogidos son dos unidades de la marca SLSUN, y sus características son las siguientes:



*Ilustración 17: Tanque SLUN*

| Característica            | Descripción                        |
|---------------------------|------------------------------------|
| Máxima presión de trabajo | 100 MPa                            |
| Capacidad                 | 1,52 m <sup>3</sup>                |
| Marca                     | SLSUN                              |
| Dimensiones (LWH)         | 1200*1000*1150 mm                  |
| Medio                     | Aire, N2, CO2, agua, etc.          |
| Tipo                      | Horizontal, vertical               |
| Material                  | SA516GR70, Q345R, acero inoxidable |
| Certificación             | ASME, NB, PED(CE)                  |
| Superficie                | Recubrimiento o chorro de arena    |

*Tabla 24: Características del tanque escogido*

Los generadores de hidrógeno por electrólisis utilizados son los mismos que en el caso en el que el consumo medio es de 10 kWh. Debido a las limitaciones de caudal del generador, y a la imposibilidad de encontrar un generador por electrólisis que tenga un mayor caudal sin aumentar exponencialmente su precio; se ha decidido poner cuatro de estos generadores en paralelo para poder cumplir con las especificaciones diarias. Con una generación unitaria de 0,5 L/min, los cuatro generadores producirían 2880L de hidrógeno al día, lo que superaría los litros necesarios. El modelo empleado es el generador SUCCESS QL-500, y sus características son las siguientes:



*Ilustración 18: Generador SUCCESS QL-500*

| Característica                  | Descripción                     |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Marca                           | SUCCESS                         |
| Número de Modelo                | QL-500                          |
| Tasa de flujo de H <sub>2</sub> | 500 ml/min.                     |
| Pureza de H <sub>2</sub>        | 99999%                          |
| Presión                         | 4 bar (7 bar)                   |
| Certificado                     | CE; ISO9001:2008                |
| Fuente de alimentación          | 100 ~ 120V o 200 ~ 240V 50-60Hz |
| Dimensiones                     | 430 x 230 x 340 mm              |
| Peso neto                       | 15 kg                           |

*Tabla 25: Características del generador por electrólisis*

Al igual que en el caso anterior, se ha decidido utilizar cuatro pilas de combustible iguales a la utilizada para el caso anterior para poder suministrar la energía diaria necesaria. La pila de combustible de hidrógeno es de la marca Rufri y el modelo GC-RMZ-100, y sus principales características son las siguientes:

| Atributo             | Valor            |
|----------------------|------------------|
| Marca                | Rufri            |
| Lugar de origen      | China            |
| Número de Modelo     | GC-RMZ-100       |
| Tamaño de la batería | 1,5 kW           |
| Puerto de entrega    | Shanghái, Ningbo |
| Tipo de batería      | Sistema Stack    |
| Temperatura          | -40 a 55 °C      |
| Tensión nominal      | 27-300V          |

*Tabla 26: Pila de combustible escogida*

El compresor utilizado anteriormente podrá suministrar el caudal necesario de hidrógeno para este caso. El compresor de 30 bar utilizado en la instalación es el siguiente:



*Ilustración 19: Compresor escogido*

| Característica     | Descripción                                  |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Fabricante         | Atlas Copco                                  |
| Rendimiento        | De 100 a 199 l/min                           |
| Tipo de compresor  | Compresor de pistón,<br>lubricado con aceite |
| Tanque             | 0 litros                                     |
| Rendimiento        | 126 l/min                                    |
| Presión            | 30 bar                                       |
| Voltaje            | 400 V                                        |
| Potencia del motor | 1.5 kW                                       |
| Número de etapas   | 2                                            |
| Nivel de ruido     | 80 dB                                        |

*Tabla 27: Características del compresor elegido*

Debido al nivel de ruido del compresor, se instalarán 54 paneles de espuma acústica t.akustik SA-N30. Estos paneles costarán 327 € y se incluirán en el coste del compresor.

Este sistema de almacenamiento requiere un inversor que permita transformar la energía alterna en continua para almacenar la energía, y la continua en alterna para poder consumir la energía cuando se desee. Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Sus características son las siguientes:

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

*Tabla 28: Especificaciones del inversor seleccionado*

Una vez escogidos los elementos que formarán parte de la instalación, se debe tener en cuenta el espacio que ocupará la instalación. El área total que ocuparán los tres elementos es inferior a los 4 m<sup>2</sup>, por lo que, teniendo en cuenta que no se podrán colocar los tres elementos completamente juntos y que se requerirá de espacio para conductos y para el cableado, se puede estimar un área total necesaria de 7 m<sup>2</sup>.

Para calcular la energía necesaria para suministrar 100 kWh, se deben tener en cuenta los rendimientos de los diferentes componentes. El rendimiento de la pila de combustible es del 40 %, el rendimiento típico de un generador de hidrógeno mediante electrólisis roza el 60 %, mientras que el rendimiento típico de un compresor de 30 bar roza el 80%. Con estos datos se calcula la energía necesaria para dar 100 kWh:

$$\eta = 40\% * 70\% * 85\% * 97\% * 97\% = 22,39\%$$

$$Energía\ necesaria = 10\ kWh / 22,39\% = 446,43\ kWh$$

### 3.2.9 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de los tanques de almacenamiento, con el coste de los generadores de hidrógeno mediante electrólisis, con el coste de las pilas de combustible, con el coste del compresor, con el coste del aislamiento sonoro, con el coste del inversor y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo                                                                   | Coste              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Tanques SLSUN                                                              | 10.000,00 €        |
| Generadores SUCCES QL-500                                                  | 5.600,00 €         |
| Compresor Atlas Copo                                                       | 2.688,08 €         |
| Pila de combustible Rufri                                                  | 3.600,00 €         |
| DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2 Monofásico AH6M-2 | 2.479,00 €         |
| Instalación                                                                | 1.200,00 €         |
| <b>Total</b>                                                               | <b>25.567,08 €</b> |

*Tabla 29: Costes de inversión*

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 10 años sin valor residual, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 0 €. Este valor residual nulo se aplicará a los generadores de hidrógeno mediante electrólisis, al compresor y a las pilas de combustible. Se supondrá que los tanques no se deprecian en 10 años, por lo que pueden ser vendidos por el mismo precio por el que fueron comprados.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$Ahorro = 100 \frac{kWh}{día} * (0,2017 - 0,1095) \frac{€}{kWh} * 365 días = 3365,30 €$$

La estimación de costes de seguridad y mantenimiento para 100 kWh es la siguiente:

Se ha escogido formar a dos personas en el hidrógeno verde con el curso titulado: Curso Experto en Hidrógeno Verde de TÜV SÜD Academy.

Se han escogido dos detectores de fugas CrossLab CS Electronic Leak Detector, con dos segundos de tiempo de respuesta y 1,5 segundos de tiempo de verificación de ausencia de fugas.

Se han elegido dos ventiladores CFT-24 de la marca DRUM. Tienen una potencia de 195 W cada uno. Las características del ventilador son las siguientes:

| Atributo            | Valor                    |
|---------------------|--------------------------|
| Código              | 048/0010007              |
| Caudal de aire      | 13.200 m <sup>3</sup> /h |
| Potencia eléctrica  | 195 W                    |
| Tensión de servicio | 230V 50Hz                |
| Velocidades         | 3 velocidades            |

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Cable de corriente      | 18-mar      |
| Revoluciones            | 1.100 rpm   |
| Diámetro del ventilador | 600 mm      |
| Peso                    | 16 kg       |
| Dimensiones             | 76x29x77 cm |

Tabla 30: Características del ventilador escogido

Los costes de inversión asociados a la seguridad son los siguientes:

| Atributo                                               | Precio         |
|--------------------------------------------------------|----------------|
| Curso Experto en Hidrógeno Verde de TÜV SÜD Academy    | 4.300 €        |
| Detector de fugas CrossLab CS Electronic Leak Detector | 3.092 €        |
| Ventilador DRUM FAN CFT-24 195 W                       | 590 €          |
| <b>Total</b>                                           | <b>7.982 €</b> |

Tabla 31: Costes de seguridad del almacenamiento de hidrógeno

El mantenimiento constará de una visita de un técnico una vez al mes para asegurarse de que todo funciona correctamente. El coste de esta revisión será de 600 € al mes.

Los resultados de la inversión para el almacenamiento de energía en forma de hidrógeno para un módulo con un consumo medio diario de 100 kWh son:

|                          | Año 0        | Año 1       | Año 2       | Año 3       | Año 4       | Año 5       | Año 6       | Año 7       | Año 8       | Año 9       | Año 10      |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Ahorro energía</b>    |              | 3.365,30 €  | 3.466,26 €  | 3.570,25 €  | 3.677,35 €  | 3.787,67 €  | 3.901,31 €  | 4.018,34 €  | 4.138,89 €  | 4.263,06 €  | 4.390,95 €  |
| <b>Mantenimiento</b>     |              | -7.200,00 € | -7.416,00 € | -7.638,48 € | -7.867,63 € | -8.103,66 € | -8.346,77 € | -8.597,18 € | -8.855,09 € | -9.120,74 € | -9.394,37 € |
| <b>Costes seguridad</b>  | -7.982,00 €  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Venta tanque</b>      |              | - €         | - €         | - €         | - €         | - €         | - €         | - €         | - €         | - €         | 5.000,00 €  |
| <b>Inversión inicial</b> | -25.567,08 € |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Flujo</b>             | -33.549,08 € | -3.834,70 € | -3.949,74 € | -4.068,23 € | -4.190,28 € | -4.315,99 € | -4.445,46 € | -4.578,84 € | -4.716,20 € | -4.857,68 € | -3,42 €     |
| <b>VAN</b>               | -67.058,71 € |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>R</b>                 | 3%           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

Tabla 32: Resultados económicos del almacenamiento en hidrógeno para 100 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de hidrógeno para el almacenamiento de energía no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo. El almacenamiento de hidrógeno cuenta con una restrictiva normativa, que imposibilita la creación de un sistema de creación y almacenamiento de hidrógeno.

### 3.3 Volante de inercia

#### 3.3.1 Historia

Este método de almacenamiento de energía mecánica se ha encontrado presente en elementos pertenecientes al año 6.000 A.C. Tenía forma de disco de piedra o arcilla, y era utilizado en China y Mesopotamia para fabricar cerámica. Estos volantes de inercia manuales fueron viéndose modificados ligeramente hasta que, a finales del siglo XVIII, la invención de la máquina de vapor permitió la conversión de energía en energía rotativa de una manera mucho más eficiente. Estos discos estaban formados principalmente por hierro y por acero.

A mediados del siglo XX, se empezó a investigar y a desarrollar una tecnología que permitiera almacenar energía mediante energía cinética. La búsqueda de reducir las pérdidas ha llevado al encapsulado de los volantes de inercia, para poder crear un vacío y reducir las pérdidas por rozamiento con el aire.

Actualmente se utilizan principalmente para permitir que la energía se transmita de una manera más uniforme, como en la conversión de energía ocurrida en un motor de combustión de un coche. La variación de materiales y formas utilizadas en el volante de inercia, junto al desarrollo de diferentes tecnologías; han permitido que los volantes de inercia sean capaces de almacenar la energía cinética durante más tiempo, permitiendo que su uso se extienda al ámbito del almacenamiento de energía.

### 3.3.2 Fundamento técnico

Este tipo de almacenamiento de energía almacena la energía eléctrica en energía cinética mecánica en un volante, cuya forma suele ser de disco o de anillo, dependiendo de las características que se deseen tener en el volante.

Para transformar la energía eléctrica en energía cinética, se acciona un motor, que gira el volante a la velocidad deseada. Cuando se quiere hacer uso de la energía mecánica almacenada, el motor utiliza el par proporcionado por la masa giratoria para producir energía eléctrica. La energía cinética almacenada sigue la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{1}{2} * I * w^2$$

Siendo I el momento de inercia del volante y w la velocidad angular del mismo.

Para optimizar la energía almacenada en un volante de inercia, se hacen principalmente dos cosas: aumentar la velocidad de giro o aumentar el momento de inercia. El uso de diferentes materiales y de diferentes formas de volante permiten estos aumentos de energía almacenada. Hay dos tipos de volantes de inercia, los de baja velocidad y los de alta velocidad. Los de baja velocidad suelen estar formados por materiales metálicos y se apoyan en cojinetes magnéticos. Estos volantes tienen forma de disco. En los volantes de alta velocidad, las velocidades están comprendidas entre 10.000 rpm y 100.000 rpm. Suelen estar formados por materiales ligeros y resistentes, como la fibra

de carbono o la fibra de vidrio. El uso de estos materiales produce un aumento exponencial en el coste de ellos frente a los de baja velocidad.

### 3.3.3 Ventajas e inconvenientes

El uso actual de volantes de inercia se debe principalmente a la alta densidad de almacenamiento de energía que presenta y a la gran capacidad de transmitir la potencia instantáneamente, lo que permite transmitir mucha energía en poco tiempo. Otra ventaja que posee frente al resto de sistemas de almacenamiento es la resistencia a la degradación. El volante de inercia no sufre efectos negativos al sobrecargarse o al sobredescargarse, lo que permite que la energía almacenada no se reduzca a lo largo de su vida útil. La vida útil de los volantes de inercia es extensa, pudiendo llegar a ser de 30 años.

Este sistema de almacenamiento tiene algunas desventajas que se deben tener en cuenta a la hora de elegir o no esta tecnología. La principal desventaja que sufre es la incapacidad de almacenar la energía por largos periodos de tiempo. Otra desventaja a tener en cuenta es su gran peso y volumen. Esto podría dificultar su transporte y su colocación. Debido a los materiales que utiliza, los volantes de inercia pueden ser costosos, y pueden no ser adecuados para sistemas de almacenamiento de energía que no consideren su utilización por un periodo largo.

### 3.3.4 Principales usos

Este sistema de almacenamiento de energía se encuentra en uso principalmente en la industria ferroviaria, en la estabilización de la red y en el almacenamiento de energía.

El sector ferroviario utiliza volantes de inercia debido a su alta densidad de potencia. Se estima que se recupera el 15% de la energía de frenado. Esta energía se disipaba anteriormente en resistencias de frenado, que desechaban toda la energía.

Red eléctrica utiliza volantes de inercia para dar estabilidad a la red debido a la alta potencia, a la alta velocidad de respuesta y a la larga vida útil que presentan. Esta tecnología se utiliza principalmente para regular picos de tensión y la frecuencia. Otro uso que puede tener esta tecnología es el de ayudar con los sistemas de alimentación interrumpida (SAI). Estos sistemas no deben sufrir cortes debido al problema de seguridad que esto supondría. Algunos de estos sistemas son los equipos médicos de los hospitales, los sistemas informáticos de los bancos y las comunicaciones.

El uso de volantes de inercia para almacenar energía renovable permite consumir la energía producida de manera sostenible en periodos en los que el recurso (sol, viento) no está disponible.

### 3.3.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación del almacenamiento de energía en forma de energía cinética que suministre un consumo diario medio de 10 kWh. Se necesitarán los siguientes elementos: Volante de inercia e inversor híbrido.

El volante de inercia utilizado es de la marca Amber Kinetics y su modelo es el M32. Sus características son las siguientes:

| Característica                          | Valor                               |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Capacidad de Energía                    | 32 kWh                              |
| Capacidad de Potencia                   | 8 kW                                |
| Duración de Descarga                    | 4 horas                             |
| Eficiencia (CC)                         | >86% (ciclo completo)               |
| Vida útil (Ciclos)                      | 11,000 ciclos                       |
| Rango de Temperatura                    | -20°C a 50°C                        |
| Voltaje de Entrada/Salida (CC)          | 550 Vdc – 750 Vdc                   |
| Peso del Sistema                        | 4,763 kg                            |
| Dimensiones                             | 132 cm x 137 cm (alto x diámetro)   |
| Tiempo de Respuesta a Potencia Completa | <1 segundo                          |
| Comunicaciones                          | Compatible con SCADA (DNP3, Modbus) |
| Garantía                                | 10 años                             |

*Tabla 33: Características del volante de inercia M32*

Este sistema de almacenamiento requiere un inversor que permita transformar la energía alterna en continua para almacenar la energía, y la continua en alterna para poder consumir la energía cuando se desee. Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Sus características son las siguientes:

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

*Tabla 34: Especificaciones del inversor seleccionado*

Se debe tener en cuenta el espacio utilizado para poder alojar este sistema de almacenamiento. El volante de inercia ocupa 1,88m<sup>2</sup>, y el inversor ocupa un área de 0,24m<sup>2</sup>. El sistema total se podrá situar cómodamente en un espacio de 3m<sup>2</sup>, por lo que se podrá colocar en el sótano de una vivienda. Se debe tener en cuenta el peso del volante de inercia, debido a que pesa 4,783 kg.

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía mediante un volante de inercia para una vivienda con un consumo diario medio de 10 kWh. La factibilidad de esta tecnología está demostrada, pero la reciente comercialización hace difícil la adquisición del volante de inercia para uno doméstico. Hay diferentes propuestas comerciales para la comercialización de esta tecnología en el ámbito del almacenamiento de energía. Esta incipiente comercialización traerá una competencia que ayudará a reducir los costes de esta.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento del volante de inercia del 86% para el ciclo completo y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 10 kWh será:

$$\eta = 86\% * 97\% * 97\% = 80,92\%$$

$$Energía\ necesaria = 10\ kWh / 80,92\% = 12,38\ kWh$$

### 3.3.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con la venta al cabo de 10 años. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste del volante de inercia, con el inversor utilizado y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo    | Coste       |
|-------------|-------------|
| Volante     | 32.000,00 € |
| Instalación | 500,00 €    |
| inversor    | 2.479,00 €  |
| Total       | 34.979,00 € |

*Tabla 35: Costes de inversión*

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 30 años sin valor residual para el volante de inercia, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 21.333,33 €.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$\text{Ahorro} = 10 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * (0,2017 - 0,1095) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 365 \text{ días} = 336,53 \text{ €}$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0          | Año 1       | Año 2       | Año 3       | Año 4       | Año 5       | Año 6       | Año 7       | Año 8       | Año 9       | Año 10         |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Ahorro energía    |                | 336,53<br>€ | 346,63<br>€ | 357,02<br>€ | 367,74<br>€ | 378,77<br>€ | 390,13<br>€ | 401,83<br>€ | 413,89<br>€ | 426,31<br>€ | 439,10<br>€    |
| Venta             |                |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 21.333,33<br>€ |
| Inversión inicial | 34.979,00<br>€ |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                |
| Flujo             | 34.979,00<br>€ | 336,53<br>€ | 346,63<br>€ | 357,02<br>€ | 367,74<br>€ | 378,77<br>€ | 390,13<br>€ | 401,83<br>€ | 413,89<br>€ | 426,31<br>€ | 21.772,43<br>€ |
| VAN               | 15.837,72<br>€ |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                |
| TIR               | -3%            |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                |
| R                 | 3%             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                |

Tabla 36: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de energía mediante un volante de inercia no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo debido a que el valor actual neto es negativo. Los motivos por los cuales podría interesar esta tecnología son motivos de sostenibilidad, no motivos económicos.

### 3.3.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación del almacenamiento de energía en forma de energía cinética que suministre un consumo diario medio de 100 kWh. Se necesitarán los siguientes elementos: Volante de inercia e inversor híbrido.

El volante de inercia comercializado tiene una capacidad de 32 kWh. La alta escalabilidad del volante de inercia permite ampliar la energía almacenada de una manera sencilla. Al utilizar varios volantes de inercia Amber Kinetics M32, se puede almacenar la energía que se desee sin tener que desechar el volante de inercia previo. Se utilizarán tres volantes de inercia para poder almacenar los 100 kWh solicitados. El volante de inercia utilizado es de la marca Amber Kinetics y su modelo es el M32. Sus características son las siguientes:

| Característica                          | Valor                               |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Capacidad de Energía                    | 32 kWh                              |
| Capacidad de Potencia                   | 8 kW                                |
| Duración de Descarga                    | 4 horas                             |
| Eficiencia (CC)                         | >86% (ciclo completo)               |
| Vida útil (Ciclos)                      | 11,000 ciclos                       |
| Rango de Temperatura                    | -20°C a 50°C                        |
| Voltaje de Entrada/Salida (CC)          | 550 Vdc – 750 Vdc                   |
| Peso del Sistema                        | 4,763 kg                            |
| Dimensiones                             | 132 cm x 137 cm (alto x diámetro)   |
| Tiempo de Respuesta a Potencia Completa | <1 segundo                          |
| Comunicaciones                          | Compatible con SCADA (DNP3, Modbus) |
| Garantía                                | 10 años                             |

*Tabla 37: Características del volante de inercia M32*

Este sistema de almacenamiento requiere un inversor que permita transformar la energía alterna en continua para almacenar la energía, y la continua en alterna para poder consumir la energía cuando se desee. Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Sus características son las siguientes:

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

*Tabla 38: Especificaciones del inversor seleccionado*

Se debe tener en cuenta el espacio utilizado para poder alojar este sistema de almacenamiento. El volante de inercia ocupa 1,88m<sup>2</sup>, y el inversor ocupa un área de 0,24m<sup>2</sup>. El sistema total se podrá situar cómodamente en un espacio de 7m<sup>2</sup>, por lo que se debe con suficiente espacio para instalar esta tecnología. Se debe tener en cuenta el peso del sistema, que asciende a 14.310 kg. Este sistema, aunque no es muy voluminoso, tiene un peso que no es adecuado para ser situado en una planta elevada de una estructura, por lo que se podrá instalar si el edificio en el que se quiere instalar el módulo consta de espacio suficiente en su sótano.

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía mediante un volante de inercia para módulo con un consumo diario medio de 100 kWh. La factibilidad de esta tecnología está demostrada, pero la reciente comercialización hace difícil la adquisición del volante de inercia para uno doméstico. Hay diferentes propuestas comerciales para la comercialización de esta tecnología en el ámbito del almacenamiento de energía. Esta incipiente comercialización traerá una competencia que ayudará a reducir los costes de esta.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento del volante de inercia del 86% para el ciclo completo y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 10 kWh será:

$$\eta = 86\% * 97\% * 97\% = 80,92\%$$

$$Energía\ necesaria = 100\ kWh / 80,92\% = 123,80\ kWh$$

### 3.3.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con la venta al cabo de 10 años. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de los volantes de inercia, con el inversor utilizado y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo    | Coste        |
|-------------|--------------|
| Volante     | 128.000,00 € |
| Instalación | 1.000,00 €   |
| inversor    | 2.479,00 €   |
| Total       | 131.479,00 € |

Tabla 39: Costes de inversión

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 30 años sin valor residual para el volante de inercia, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 21.333,33 €.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$\text{Ahorro} = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * (0,2017 - 0,1095) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 365 \text{ días} = 3365,30 \text{ €}$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0        | Año 1      | Año 2      | Año 3      | Año 4      | Año 5      | Año 6      | Año 7      | Año 8      | Año 9      | Año 10      |
|-------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ahorro energía    |              | 3.365,30 € | 3.466,26 € | 3.570,25 € | 3.677,35 € | 3.787,67 € | 3.901,31 € | 4.018,34 € | 4.138,89 € | 4.263,06 € | 4.390,95 €  |
| Venta             |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 85.333,33 € |
| Inversión inicial | 131.479,00 € |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
| Flujo             | 131.479,00 € | 3.365,30 € | 3.466,26 € | 3.570,25 € | 3.677,35 € | 3.787,67 € | 3.901,31 € | 4.018,34 € | 4.138,89 € | 4.263,06 € | 89.724,28 € |
| VAN               | -35.310,17 € |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
| TIR               | -1%          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
| R                 | 3%           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |

Tabla 40: Viabilidad económica almacenamiento de hidrógeno 10 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de energía mediante un volante de inercia no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo debido a que el valor actual neto es negativo. Los motivos por los cuales podría interesar esta tecnología son motivos de sostenibilidad, no motivos económicos.

### **3.4 Batería de Vanadio**

#### **3.4.1 Historia**

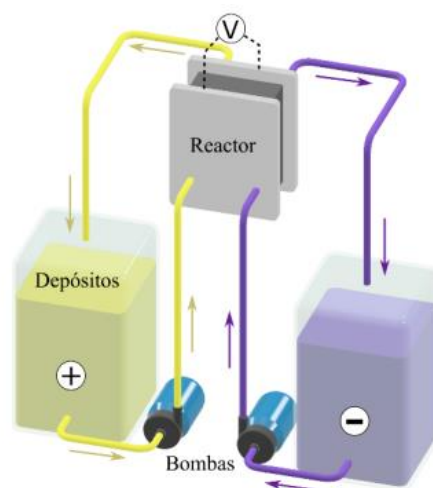
La historia de este tipo de batería se remonta al año 1801, cuando el elemento químico fue descubierto por Andrés Manuel del Río. Este descubrimiento se realizó en México, pero cuando la muestra obtenida fue presentada a Alexander Von Humbolt, se desestimó el descubrimiento y se consideró que la muestra era cromo. No fue hasta el año 1831 que se descubrió oficialmente el elemento. Lo redescubrió el sueco Nils Gabriel Sefström. El nombre del elemento proviene de la diosa escandinava Vanadis, debido a que produce varios compuestos químicos de diferentes colores.

El metal no fue aislado hasta el año 1867, cuando Henry Enfield Roscoe redujo vanadio con hidrógeno. El metal no tuvo mucho uso hasta 1896, cuando se empezó a utilizar en aceros para aumentar la fuerza de tracción. No fue hasta un siglo después, cuando, en 1986, se patentó la batería redox de vanadio. Esta invención fue patentada por la Universidad de Nueva Gales del Sur. Las baterías de flujo llevaban en desarrollo dos décadas, habiendo llegado a ser propuesto por la NASA el uso del vanadio en ellas; pero no fue hasta 1986 que se demostró la viabilidad de las baterías de flujo con vanadio.

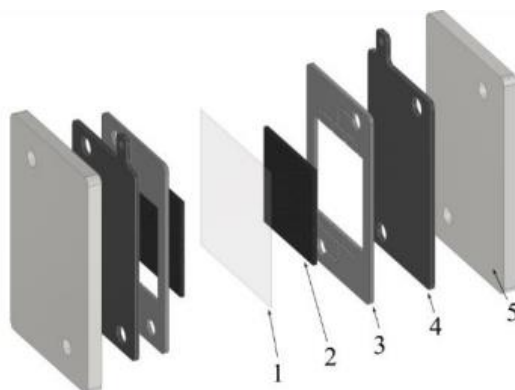
#### **3.4.2 Fundamento técnico**

La batería redox de vanadio o, batería redox de flujo, utiliza los diferentes estados de oxidación de los iones del vanadio para producir energía química. Sus diferentes estados son  $V^{2+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $VO^{2+}$  ( $V^{4+}$ ),  $VO_2^+$  ( $V^{5+}$ ). Se aprovecha la capacidad del vanadio de existir en cuatro estados de oxidación diferentes en solución.

La batería está compuesta por dos tanques, impulsados por sendas bombas y conectados mediante un reactor. En el reactor se conectan ambos líquidos mediante una membrana. Esta membrana permite el flujo de protones, sin permitir que ambos líquidos se mezclen. La disposición de la batería de vanadio y el detalle del reactor se muestran a continuación:



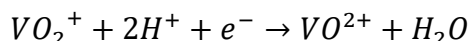
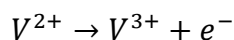
*Ilustración 20: Disposición de la batería de vanadio*



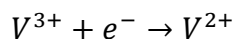
*Ilustración 21: Partes del reactor: (1) Membrana (2) Electrodo (3) Marco (4) Placa bipolar (5) Placa de cierre*

Para su funcionamiento, se hacen circular las soluciones por el reactor gracias a las bombas. En el reactor, al aplicar una corriente eléctrica, los electrones pasan a través del circuito y el vanadio cambia de estado, haciendo que protones viajen de un líquido al otro a través de una membrana situada en el reactor. Durante la descarga, el vanadio vuelve a su estado original, liberando electrones que viajan por el circuito en la dirección opuesta; lo que permite aprovechar el potencial químico como energía eléctrica. Durante la descarga hay protones que viajan de un líquido a otro para equilibrar las cargas.

Las reacciones que ocurren durante la carga son las siguientes:



Las reacciones ocurridas durante la descarga son las siguientes:



### 3.4.3 Ventajas e inconvenientes

Las ventajas de la batería de vanadio frente a otras tecnologías de almacenamiento de energía la convierten en una tecnología prometedora. La batería puede ofrecer una capacidad fácilmente escalable, debido a que solo haría falta aumentar el tanque que contiene la solución para aumentar su capacidad. Esto hace que la batería pueda tener una capacidad de almacenamiento de energía prácticamente ilimitada. Otra ventaja de la batería de vanadio es su capacidad para permanecer sin funcionar por largos periodos de tiempo sin sufrir daños.

Si la batería no dispone temporalmente de una fuente de alimentación, la batería puede ser recargada fácilmente cambiando las soluciones de los tanques. Además, en caso de que la batería sufra algún daño y se mezclen las soluciones, la batería no sufriría daños permanentes.

La batería es segura. Al almacenarse el electrolito fuera del reactor, no hay riesgo de explosión o de incendio. En caso de que se mezclaran las soluciones, la única consecuencia termodinámica sería un ligero aumento de la temperatura de la solución.

El número de ciclos de carga es elevado. Al cargarse y descargarse no se producen daños en la batería, lo que permite tener una vida útil de la batería larga. Algunos fabricantes indican una vida útil de 40 años.

Las desventajas de esta batería están relacionadas con la poca densidad energética que tiene, con la complejidad de su sistema y con los elevados costes que tiene actualmente la tecnología. La principal desventaja es el bajo rendimiento que tiene. El rendimiento de la batería se ve afectado por el rendimiento de las bombas que impulsan las soluciones.

#### **3.4.4 Principales usos**

Esta tecnología permite el almacenamiento de energía procedente de fuentes renovables, lo que ayuda a no desperdiciar el excedente de solar y permite aportar energía en periodos punta. Esta tecnología puede ser utilizada por empresas para almacenar la energía en periodos donde la energía eléctrica es más barata, y utilizarla en periodos más caros. Además, permite que se genere energía eléctrica en zonas aisladas.

Otro uso que puede tener esta tecnología es el de ayudar con los sistemas de alimentación interrumpida (SAI). Este método permitiría que ciertos servicios o equipos que deben estar conectados siempre no se desconecten.

#### **3.4.5 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 10 kWh**

Se realizará un estudio para poder garantizar la factibilidad de la instalación de la batería de vanadio que suministre un consumo diario medio de 10 kWh. Se necesitarán los siguientes elementos: un reactor, dos bombas, dos tanques, las soluciones y un inversor. Se ha encontrado un fabricante que proporciona una batería de vanadio completa, con los tanques, las bombas, el reactor y las soluciones. La batería escogida es de la marca vet y sus características son las siguientes:

| Atributo                 | Valor                       |
|--------------------------|-----------------------------|
| Marca                    | VET                         |
| Lugar de origen          | Zhejiang, China             |
| Nombre del producto      | Vanadium Redox Flow Battery |
| Voltaje nominal          | 58V DC                      |
| Corriente nominal        | 173A                        |
| Potencia nominal         | 10kW                        |
| Energía nominal          | 100kWh                      |
| Eficiencia nominal       | >75%                        |
| Temperatura de operación | 0~40°C                      |
| Ciclo de vida            | >20,000 veces               |

*Tabla 41: Características batería de vanadio*

Debido a que las necesidades de la vivienda son 10 kWh, se puede reducir el espacio que ocupa la batería comprando dos tanques de 0,1 m<sup>3</sup> en lugar de dos tanques de 1 m<sup>3</sup>. En este caso se va a proceder a la compra de dos tanques más pequeños. El precio de los tanques de 1000 L se asemejará al precio de compra de los tanques por separado. El tanque utilizado para la comparativa es un depósito IBC GRG con las siguientes características:



*Ilustración 22: tanque de 1000 L utilizado*

| Atributo                 | Valor               |
|--------------------------|---------------------|
| Medidas (Alto)           | 1170 mm             |
| Medidas (Base)           | 1000 x 1200 mm      |
| Capacidad                | 1000 litros         |
| Estado                   | Completamente nuevo |
| Tapa superior (diámetro) | 150 mm              |
| Válvula de salida        | 2 pulgadas          |
| Referencia               | ZIBC1000PL          |

*Tabla 42: Características del tanque utilizado*

Los tanques utilizados para el caso en el que el consumo diario medio es de 10 kWh necesitarán contar con 100 L de capacidad cada uno. El tanque escogido es de la marca Slimline y sus características son las siguientes:



*Ilustración 23: tanque Slimline de 100 L*

| Atributo       | Valor      |
|----------------|------------|
| Estado         | Nuevo      |
| UPC/EAN        | 5,0217E+12 |
| Marca          | Slimline   |
| País de origen | España     |
| Peso producto  | 5400       |
| Largo          | 32         |
| Ancho          | 36         |
| Alto           | 95.5       |

Tabla 43: Características del tanque Slimline de 100 L

Este sistema de almacenamiento requiere un inversor que permita transformar la energía alterna en continua para almacenar la energía, y la continua en alterna para poder consumir la energía cuando se desee. Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Sus características son las siguientes:

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

Tabla 44: Especificaciones del inversor seleccionado

La batería de vanadio ocupa aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, por lo que puede ser situado en el sótano de una vivienda.

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía mediante una batería de vanadio para una vivienda con un consumo diario medio de 10 kWh.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento de la batería de vanadio del 75% y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 10 kWh será:

$$\eta = 75\% * 97\% * 97\% = 70,57\%$$

$$Energía\ necesaria = 10\ kWh / 70,57\% = 14,17\ kWh$$

### **3.4.6 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh**

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con la venta al cabo de 10 años. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de la batería, con el inversor utilizado y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo     | Coste              |
|--------------|--------------------|
| Vanadio      | 12.500,00 €        |
| Instalación  | 400,00 €           |
| Inversor     | 2.479,00 €         |
| <b>Total</b> | <b>15.379,00 €</b> |

Tabla 45: Costes de inversión

Se sustituirán los dos tanques, tasados en 295,00 € cada uno, por dos tanques de 100 L, tasados en 49,90 € cada uno. Los costes de inversión quedan:

| Atributo     | Coste              |
|--------------|--------------------|
| Vanadio      | 12.009,80 €        |
| Instalación  | 400,00 €           |
| Inversor     | 2.479,00 €         |
| <b>Total</b> | <b>14.888,80 €</b> |

Tabla 46: Inversión inicial batería de vanadio de 10 kWh

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 40 años sin valor residual para la batería de vanadio, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 9.007,35 €. Se contará con un mantenimiento, que se realizará de manera bimensual. La revisión será hecha por un técnico, y costará 400 € por revisión. Estas revisiones se actualizarán anualmente con la tasa de descuento escogida.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$\text{Ahorro} = 10 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * (0,2017 - 0,1095) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 365 \text{ días} = 336,53 \text{ €}$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0       | Año 1       | Año 2       | Año 3       | Año 4       | Año 5       | Año 6       | Año 7       | Año 8       | Año 9       | Año 10        |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Ahorro energía    |             | 336,53<br>€ | 346,63<br>€ | 357,02<br>€ | 367,74<br>€ | 378,77<br>€ | 390,13<br>€ | 401,83<br>€ | 413,89<br>€ | 426,31<br>€ | 439,10 €      |
| Mantenimiento     |             | 400,00<br>€ | 412,00<br>€ | 424,36<br>€ | 437,09<br>€ | 450,20<br>€ | 463,71<br>€ | 477,62<br>€ | 491,95<br>€ | 506,71<br>€ | -<br>521,91 € |
| Venta             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 9.007,35<br>€ |
| Inversión inicial | 14.888,80 € |             |             |             |             |             |             |             |             |             |               |
| Flujo             | 14.888,80 € | -63,47 €    | -65,37 €    | -67,34 €    | -69,36 €    | -71,44 €    | -73,58 €    | -75,79 €    | -78,06 €    | -80,40 €    | 8.924,54 €    |
| VAN               | -8.802,70 € |             |             |             |             |             |             |             |             |             |               |
| TIR               | -6%         |             |             |             |             |             |             |             |             |             |               |
| R                 | 3%          |             |             |             |             |             |             |             |             |             |               |

Tabla 47: Viabilidad económica batería de vanadio de 10 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de energía mediante una batería de vanadio no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo debido a que el valor actual neto es negativo. Los motivos por los cuales podría interesar esta tecnología son motivos de sostenibilidad, no motivos económicos.

### 3.3.7 Estudio de viabilidad para un consumo diario medio de 100 kWh

Para un módulo de almacenamiento de energía de batería de vanadio se utilizará el producto ofrecido por la empresa Ningbo Miami Advanced Material Technology Co. Las características de la batería de vanadio escogida son las siguientes:



*Ilustración 24: Batería de vanadio 10 kW 100 kWh*

| Atributo                 | Valor                       |
|--------------------------|-----------------------------|
| Marca                    | VET                         |
| Lugar de origen          | Zhejiang, China             |
| Nombre del producto      | Vanadium Redox Flow Battery |
| Voltaje nominal          | 58V DC                      |
| Corriente nominal        | 173A                        |
| Potencia nominal         | 10kW                        |
| Energía nominal          | 100kWh                      |
| Eficiencia nominal       | >75%                        |
| Temperatura de operación | 0~40°C                      |
| Ciclo de vida            | >20,000 veces               |

*Tabla 48: Características de la batería de vanadio escogida para 100 kWh*

Este sistema de almacenamiento requiere un inversor que permita transformar la energía alterna en continua para almacenar la energía, y la continua en alterna para poder consumir la energía cuando se desee. Se ha seleccionado un inversor de 15 kW, llamado DEYE Inversor híbrido 15kW 2xMPPT SUN-15K-SG01HP3-EU-AM2. Sus características son las siguientes:

| Especificación               | Valor           |
|------------------------------|-----------------|
| Peso                         | 40 kg           |
| Dimensiones                  | 65 × 55 × 45 cm |
| Conexión                     | RS232, WiFi     |
| Corriente de carga CC máxima | 37A             |
| Función paralela             | Sí              |
| Inyección en red             | Sí              |
| Potencia                     | 15 kW           |
| Potencia fotovoltaica máxima | 19,500 W        |
| PV Max VOC                   | 1000 VDC        |
| Tensión MPPT                 | 150-850 VCC     |

Tabla 49: Especificaciones del inversor seleccionado

La batería de vanadio ocupa aproximadamente 4 m<sup>2</sup>, por lo que puede ser situado en el sótano de un edificio. El peso del líquido debe ser tenido en cuenta, por lo que se colocará la batería en una planta baja. Dos tanques de 1 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno pueden llegar a pesar llenos aproximadamente 2.000 kg.

Estos son los elementos necesarios para poder tener un almacenamiento de energía mediante una batería de vanadio para un módulo con un consumo diario medio de 100 kWh.

El rendimiento total debe ser tenido en cuenta, y se debe tener en cuenta el rendimiento de carga y el rendimiento de descarga. Con un rendimiento de la batería de vanadio del 75% y un rendimiento del inversor del 97%, la energía necesaria para poder suministrar 100 kWh será:

$$\eta = 75\% * 97\% * 97\% = 70,57\%$$

$$\text{Energía necesaria} = 100 \text{ kWh} / 70,57\% = 141,70 \text{ kWh}$$

### 3.4.8 Estudio de viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh

Para la tecnología, una vez se conoce la factibilidad de ella, se deben calcular los costes totales que tendrá la misma; para poder determinar si la tecnología es la idónea para el caso.

Se tendrán en cuenta los siguientes costes relacionados con la inversión inicial y con la venta al cabo de 10 años. Se contará con un mantenimiento, que se realizará de manera bimensual. La revisión será hecha por un técnico, y costará 400 € por revisión. Estas revisiones se actualizarán anualmente con la tasa de descuento escogida. Dentro de la inversión inicial, se cuenta con el coste de la batería, con el inversor utilizado y con el coste del técnico que realice el transporte, la instalación y el cableado necesario. Los costes relacionados con la inversión inicial son los siguientes:

| Atributo    | Coste       |
|-------------|-------------|
| Vanadio     | 12.500,00 € |
| Instalación | 400,00 €    |
| Inversor    | 2.479,00 €  |
| Total       | 15.379,00 € |

*Tabla 50: Costes de inversión*

La tasa escogida es del 3%, correspondiéndose a la tasa de inflación media de los últimos años. Se supondrá un horizonte temporal de 10 años y una amortización lineal de duración 40 años sin valor residual para la batería de vanadio, por lo que el valor de la inversión inicial al finalizar los 10 años será de 9.007,35 €.

Para calcular el ahorro de energía que este sistema de almacenamiento supondría, se ha decidido utilizar la diferencia de precios punta-valle. Se tomará un día aleatorio, no perteneciente al fin de semana ni a festivos o vísperas de festivo, y se tomará la diferencia del precio de las horas punta respecto al precio de las horas valle. Se ha elegido el día 19 de diciembre de 2023, mes cuyo precio medio se sitúa en el precio medio anual. El precio en las horas punta fue de 201,7 €/MWh, y el precio en las horas valle fue de 109,5 €/MWh. Se toman estos precios debido a que la energía almacenada puede ser debido a excedentes de fotovoltaica o a energía tomada de la red en los periodos más baratos. Esta energía almacenada será utilizada en los periodos más caros.

$$\text{Ahorro} = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * (0,2017 - 0,1095) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 365 \text{ días} = 3365,30 \text{ €}$$

La siguiente tabla muestra los costes y ahorros de energía durante los próximos 10 años. La tasa de descuento escogida es del 3% y el valor residual de la inversión inicial es de 0 €.

|                   | Año 0           | Año 1          | Año 2          | Año 3          | Año 4          | Año 5          | Año 6          | Año 7          | Año 8          | Año 9          | Año 10          |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Ahorro energía    |                 | 3.365,3<br>0 € | 3.466,2<br>6 € | 3.570,2<br>5 € | 3.677,3<br>5 € | 3.787,6<br>7 € | 3.901,3<br>1 € | 4.018,3<br>4 € | 4.138,8<br>9 € | 4.263,0<br>6 € | 4.390,95<br>€   |
| Mantenimiento     |                 | 2.400,0<br>0 € | 2.472,0<br>0 € | 2.546,1<br>6 € | 2.622,5<br>4 € | 2.701,2<br>2 € | 2.782,2<br>6 € | 2.865,7<br>3 € | 2.951,7<br>0 € | 3.040,2<br>5 € | 3.131,46<br>€   |
| Venta             |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                | 9.375,00<br>€   |
| Inversión inicial | 15.379,0<br>0 € |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |
| Flujo             | 15.379,0<br>0 € | 965,30<br>€    | 994,26<br>€    | 1.024,0<br>9 € | 1.054,8<br>1 € | 1.086,4<br>5 € | 1.119,0<br>5 € | 1.152,6<br>2 € | 1.187,2<br>0 € | 1.222,8<br>1 € | 10.634,5<br>0 € |
| VAN               | <b>968,73 €</b> |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |
| TIR               | <b>4%</b>       |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |
| R                 | <b>3%</b>       |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |

Tabla 51: Viabilidad económica batería de vanadio de 10 kWh

Con los resultados obtenidos, la instalación de un sistema de almacenamiento de energía mediante una batería de vanadio no resultaría rentable y la inversión no se debería llevar a cabo debido a que el valor actual neto es negativo. Los motivos por los cuales podría interesar esta tecnología son motivos de sostenibilidad, no motivos económicos.



# Capítulo 4: Comparativa de las tecnologías

## 4.1 Viabilidad económica para un consumo diario medio de 10 kWh

En este capítulo se compararán los resultados obtenidos de los análisis de viabilidad económica del capítulo anterior para un consumo diario medio de 10 kWh. Los resultados obtenidos son los siguientes:

| 10 kWh             | VAN          | TIR | Rendimiento | Área (m <sup>2</sup> ) | Peso (kg) | Limitación                                 |
|--------------------|--------------|-----|-------------|------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| Batería de Litio   | -1.057,94 €  | -3% | 89,34%      | 1                      | -         |                                            |
| Hidrógeno          | -43.195,44 € | -   | 22,4%       | 2                      | -         | Requisitos de mantenimiento y de seguridad |
| Volante de inercia | -15.837,72 € | -3% | 80,92%      | 3                      | 4783      | Peso                                       |
| Batería de Vanadio | -8.802,70 €  | -6% | 70,57%      | 1                      | -         | Inmadurez                                  |

Tabla 52: Comparativa de las tecnologías para 10 kWh

Se observa cómo la tecnología con un mayor valor actual neto es la batería de litio. Esta tecnología es una tecnología madura, lo que le ha permitido reducir costes. Los costes, sumados a la fiabilidad de suministro energético y a la capacidad de almacenar energía por periodos de tiempo relativamente largos; hacen que sea la principal tecnología de almacenamiento de energía.

El almacenamiento en forma de hidrógeno es la tecnología con mayores costes. Estos costes se deben principalmente a los costes de seguridad y de mantenimiento. El hidrógeno está considerado como gas peligroso, por lo que se debe tener especial cuidado al almacenarlo y al trabajar con él. Aunque su almacenamiento en una vivienda no está explícitamente prohibido, sus elevados costes de seguridad hacen que no sea una tecnología rentable a pequeña escala. La inmadurez de la tecnología también produce que la producción de energía sin tener en cuenta los costes de seguridad y mantenimiento siga sin ser rentable.

El almacenamiento mediante un volante de inercia es una tecnología que lleva desarrollándose durante un largo periodo, pero que su comercialización no es amplia, por lo que no se ha llevado a cabo una reducción en los costes. Esto, sumado a la incapacidad actual de la tecnología para almacenar energía durante largos periodos de tiempo, hace que su utilización como método de almacenamiento de energía en viviendas sea limitado.

La batería de vanadio presenta unos elevados costes, lo que evita que sea una tecnología idónea para el almacenamiento de energía en viviendas. La inmadurez de este sistema de almacenamiento de energía contribuye a los elevados costes, pudiéndose ver reducidos estos a medida que la tecnología se desarrolle.

En cuanto a las necesidades de espacio de cada tecnología, ninguna de las tecnologías analizadas supone un problema de ocupación de espacio para una casa independiente, pudiéndose establecer el sistema en el sótano de dicha vivienda. Se debe tener en cuenta que, si se quisiera implementar alguna de estas tecnologías en un piso, se debería tener en cuenta el espacio disponible en dicho piso. Otro aspecto a tener en cuenta es el peso de la tecnología. La única tecnología que supone un problema si se quiere almacenar en un piso elevado es el volante de inercia. El Real Decreto 1370/1988, de 25 de julio, establece la Norma Básica de la edificación “NBE-AE/88. Acciones en la edificación”. Esta norma establece la carga adicional máxima que debe soportar un edificio, siendo esta de 200 kg/m<sup>2</sup> para las habitaciones de un edificio de viviendas. El volante de inercia no se podrá instalar en un piso, y sólo podrá instalarse en la planta inferior de una casa.

## ***4.2 Viabilidad económica para un consumo diario medio de 100 kWh***

En este capítulo se compararán los resultados obtenidos de los análisis de viabilidad económica del capítulo anterior para un consumo diario medio de 100 kWh. Los resultados obtenidos son los siguientes:

| 100 kWh            | VAN          | TIR | Rendimiento | Área (m <sup>2</sup> ) | Peso (kg) | Limitación                                 |
|--------------------|--------------|-----|-------------|------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| Batería de Litio   | 2.112,72 €   | 4%  | 89,34%      | 3                      | -         |                                            |
| Hidrógeno          | -67.058,71 € | -   | 22,4%       | 4                      | -         | Requisitos de mantenimiento y de seguridad |
| Volante de inercia | -35.310,17 € | -1% | 80,92%      | 7                      | 14.310    | Peso                                       |
| Batería de Vanadio | 968,73 €     | 4%  | 70,57%      | 4                      | 2.000     | Inmadurez                                  |

Tabla 53: Comparativa de las tecnologías para 100 kWh

La batería de litio para un consumo diario medio 100 kWh presenta el mayor valor actual neto y la mayor tasa interna de retorno, junto a la batería de vanadio. La madurez de la tecnología permite reducir los costes y tener la mayor rentabilidad. Este sistema de almacenamiento de energía es el más utilizado para este consumo y el desarrollo de esta tecnología permite aumentar la energía almacenada mediante el aumento del número de batería utilizada, permitiendo una escalabilidad gradual y permitiendo aprovechar la instalación previa.

El almacenamiento en forma de hidrógeno sigue siendo la tecnología con los mayores costes. Estos costes son debidos a la inmadurez de la tecnología, a los costes relacionados con la seguridad y a que la tecnología no es rentable para almacenamientos de energía pequeños. Esta tecnología será rentable para el almacenamiento a gran escala, debido a que los costes de seguridad y mantenimiento irán aumentando a un ritmo inferior al que lo hará el beneficio que supondrá el almacenamiento de más energía. El desarrollo de esta tecnología permitirá reducir algunos costes, permitiendo que sea rentable el almacenamiento de energía a una escala menor a la actual.

El volante de inercia no es rentable debido a su estado de madurez. Actualmente, las soluciones comerciales no presentan soluciones de escalabilidad, por lo que esta se debe llevar a cabo de manera lineal. Al aumentar la capacidad, se deben adquirir más volantes de inercia de manera proporcional a la capacidad. El ahorro que supondría la escalabilidad es la capacidad de utilizar un único inversor para transformar la energía almacenada. El no reducir costes al escalar la tecnología hace que siga sin ser rentable para esta capacidad de almacenamiento.

La batería de vanadio presenta una gran escalabilidad. Esto es debido a que, para aumentar la capacidad de este sistema, de debe aumentar la capacidad de los tanques y adquirir más cantidad de soluciones. El resto de los componentes se podrán mantener, lo que hace que los beneficios de escalar esta tecnología sean superiores al aumento de los costes.

Teniendo en cuenta el peso máximo por metro cuadrado para las oficinas de  $200 \text{ kg/m}^2$ , solo se podrían instalar en un edificio de oficinas la batería de litio y el almacenamiento de hidrógeno. Además, estas dos tecnologías permitirían esparcir los componentes en una habitación, lo que ayudaría a reducir el peso por metro cuadrado, si fuera necesario. El volante de inercia y la batería de vanadio tendrían que ser instalados en la planta inferior del edificio para no comprometer la estructura del edificio. También se debe tener en cuenta el espacio que ocuparán las tecnologías. El volante de inercia requiere el mayor espacio,  $7 \text{ m}^2$ , lo que supondría ocupar prácticamente una habitación. El espacio ocupado, teniendo que estar en la planta inferior, sería probablemente espacio libre en el sótano del edificio.



# Capítulo 5: Conclusiones

Las cuatro tecnologías analizadas presentan diferentes estados de madurez y de implementación, siendo la batería de litio la tecnología más madura. El resto de las tecnologías no presentan un gran estado de implementación.

La batería de litio es la que presenta el mayor valor actual neto, siendo esto cierto para el consumo diario medio de 10 kWh y para el de 100 kWh. Este sistema de almacenamiento es el más extendido actualmente. Esto es debido a su rápida velocidad de carga, a su lenta velocidad de descarga y a su alta densidad energética. Esta tecnología presenta varias desventajas, como que sus ciclos de carga son limitados, su elevado riesgo de incendio y los problemas medioambientales que plantea. La extracción del litio y del cobalto pueden tener un impacto negativo en el medioambiente. Además, al acabar la vida útil de la batería, se pueden llegar a liberar sustancias tóxicas al medioambiente. Estos problemas hacen necesario el desarrollo y la investigación de sistemas de almacenamiento alternativos que planteen una solución más sostenible.

La batería de litio ha servido de utilidad en los últimos años, permitiendo almacenar energía producida de manera renovable. Este almacenamiento ha conllevado poder depender menos de energías no renovables. Durante los próximos años, se espera poder encontrar sistemas de almacenamiento de energía eficientes que permitan no utilizar el litio y reducir el impacto ambiental que su extracción y desecho tienen. Actualmente, esta tecnología sigue siendo una solución rentable y deseable, pero no se debe olvidar que el uso de este sistema de almacenamiento es temporal y se debe migrar a otros métodos de almacenamiento de energía cuando se pueda. Otros sistemas de almacenamiento de energía que no cuentan con el componente negativo ambiental de este sistema son: el almacenamiento de hidrógeno verde, el volante de inercia y la batería de vanadio.

El almacenamiento en forma de hidrógeno verde no es recomendable ni para un consumo diario medio de 10 kWh ni para un consumo diario medio de 100 kWh. Esto es debido a que es la tecnología con los mayores costes para 10 kWh y para 100 kWh. Estos costes son debidos a la inmadurez de la tecnología, a los costes relacionados con la seguridad y a que la tecnología no es rentable para almacenamientos de energía reducidos. Esta tecnología será rentable para el almacenamiento a gran escala, debido a que los costes de seguridad y mantenimiento irán aumentando a un ritmo inferior al que lo hará el beneficio que supondrá el almacenamiento de más energía. El desarrollo de esta tecnología permitirá reducir algunos costes, permitiendo que sea rentable el almacenamiento de energía a una escala menor a la actual.

El uso de volantes de inercia para almacenar energía no es recomendable ni para un consumo diario medio de 10 kWh ni para un consumo diario medio de 100 kWh debido a que esta tecnología no permite almacenar energía por más de cuatro horas. La escalabilidad de esta tecnología no es buena, aumentando linealmente los costes con la capacidad de almacenamiento. Se debe tener en cuenta que no se puede instalar este sistema en plantas elevadas de un edificio o de una vivienda debido a que su elevado peso supone un riesgo para la integridad estructural del edificio o de la vivienda. Otro factor para tener en cuenta es el espacio que ocupa este método de almacenamiento. Para un consumo medio de 100 kWh se debe disponer de una habitación de tamaño pequeño, con el coste de oportunidad que esto conlleva. El uso de esta tecnología es recomendable para necesidades de transmitir una potencia elevada en un tiempo reducido, como en el frenado de trenes y en la estabilización del sistema eléctrico.

La batería de vanadio es el sistema de almacenamiento de energía de los estudiados que se acerca más a la rentabilidad que tiene la batería de litio. Este método no es recomendable para 10 kWh, pero sí lo es para un consumo diario medio de 100 kWh. Este sistema de energía tiene una alta escalabilidad, siendo necesario solo el aumento de la solución almacenada para poder aumentar la capacidad. Esto lo convierte en una de las tecnologías de almacenamiento más prometedoras. Actualmente, su uso no está extendido debido al estado de inmadurez que presenta. Se debe tener en cuenta que no se puede instalar este sistema en plantas elevadas de un edificio debido a que su elevado peso supone un riesgo para la integridad estructural del edificio para un consumo medio diario de 100 kWh. El desarrollo de esta tecnología posiblemente le permitirá sustituir a la batería de litio en el almacenamiento de energía a diferentes escalas.

Los resultados obtenidos responden a un análisis llevado a cabo en diciembre de 2024. A medida que las tecnologías se desarrollen los resultados de un análisis de viabilidad y de un análisis de viabilidad económica pueden variar.



# Capítulo 6: Bibliografía

1. Grupo ACMS. “¿Cuál es el origen del concepto sostenibilidad y desarrollo sostenible?”. Disponible en: <https://www.grupoacms.com/soluciones/sostenibilidad/cual-es-el-origen-del-concepto-sostenibilidad-y-desarrollo-sostenible>.
2. BBVA. “¿Qué es la sostenibilidad? Un camino urgente y sin marcha atrás”. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-sostenibilidad-un-camino-urgente-y-sin-marcha-atras>.
3. Fundación Solon. “¿Cuál el estado de situación de las baterías de litio?”. Disponible en: <https://fundacionsolon.org/2021/07/13/cual-el-estado-de-situacion-de-las-baterias-de-litio>.
4. Wikipedia. “Batería de estado sólido”. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_estado\\_s%C3%B3lido](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_estado_s%C3%B3lido).
5. H2 Vector. “Almacenamiento de hidrógeno”. Disponible en: <https://h2vector.com/noticias/almacenamiento-de-hidrogeno>.
6. Huffington Post. “Un laboratorio en Corea asombra a la humanidad al convertir aguas fecales en energía: el futuro a gran escala”. Disponible en: <https://www.huffingtonpost.es/tecnologia/un-laboratorio-corea-asombra-humanidad-convertir-aguas-fecales-energia-futuro-gran-escala.html>.
7. Ariema. “Almacenamiento de H2”. Disponible en: <https://www.ariema.com/almacenamiento-de-h2>.
8. CIC Energigune. “Métodos de almacenamiento de hidrógeno”. Disponible en: <https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-almacenamiento-hidrogeno-cicenergigune>.
9. H2 Vector. “LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)”. Disponible en: <https://h2vector.com/noticias/lohc-liquid-organic-hydrogen-carrier>.
10. Shilden Channel. “¿Qué es el almacenamiento de energía del volante?”. Disponible en: <https://es.shildenchannel.com/blogs/portable-power-station/what-is-flywheel-energy-storage>.
11. Wikipedia. “Volante de inercia”. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Volante\\_de\\_inercia](https://es.wikipedia.org/wiki/Volante_de_inercia).
12. Beacon Power. “Flywheel cutaway”. Disponible en: [https://beaconpower.com/wp-content/uploads/2014/03/flywheel\\_cutaway.jpg](https://beaconpower.com/wp-content/uploads/2014/03/flywheel_cutaway.jpg).
13. Endesa. “Baterías de vanadio: importancia en la transición energética”. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/baterias-vanadio-importancia-transicion-energetica>.
14. Híbridos y Eléctricos. “La batería de litio cumple 50 años: historia de un invento diferente”. Disponible en: [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/bateria-litio-50-anos-historia-diferente\\_64962\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/bateria-litio-50-anos-historia-diferente_64962_102.html).
15. Litio Argentina. “Línea de tiempo: cómo avanzó la ciencia hasta descubrir la batería de litio”. Disponible en: <https://litioargentina.com/que-es-el-litio/linea-de-tiempo-como-avanzo-la-ciencia-hasta-descubrir-la-bateria-de-litio/>.
16. Revistas UNC. “Artículo sobre baterías de litio”. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEfyN/article/view/28639#:~:text=En%20el%20%C3%A1mbito%20mundial%20el,en%20la%20d%C3%A9cada%20de%201920>.

17. Jalopnik. “Nissan diseñó un coche eléctrico para el mercado masivo en 1998”. Disponible en: <https://jalopnik.com/nissan-designed-a-mass-market-electric-car-in-1998-her-1832136540>.
18. CSIC. “Baterías recargables de litio: fundamentos y materiales”. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/49720/1/bsecv-16-05-2012-dos.pdf>.
19. Amelica. “Artículo en el portal Amelica”. Disponible en: <https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392002003/index.html>
20. CMBatteries. “13 aplicaciones sorprendentes de las baterías de iones de litio”. Disponible en: <https://cmbatteries.com/es/13-aplicaciones-sorprendentes-de-las-bater%C3%ADas-de-iones-de-litio/>.
21. Iberdrola. “Baterías de iones de litio: un avance para la sostenibilidad”. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio>.
22. Emtez. “Ventajas y desventajas de las baterías de litio”. Disponible en: <https://www.emtez.es/blog/ventajas-desventajas-litio>.
23. Jungheinrich ProfiShop. “Reciclaje de baterías de litio: ¿por qué debe desechar baterías de litio siguiendo la normativa?”. Disponible en: <https://www.jungheinrich-profishop.es/es/guia-profi/reciclaje-baterias-litio/#:~:text=Los%20acumuladores%20contienen%20materias%20primas,el%20reciclaje%20de%20sus%20componentes>.
24. Renovables del Sur. “Batería de litio Ontility EB-HV 10Wh 87V”. Disponible en: <https://renovablesdelsur.com/es/baterias-litio/1167-bateria-litio-ontility-eb-hv-10kwh-87v-8437026190040.html>.
25. Autosolar. “Inversor híbrido Tensite 6KW monofásico AH6M-2”. Disponible en: <https://autosolar.es/inversores-hibridos-monofasicos/inversor-hibrido-tensite-6kw-monofasico-ah6m-2>.
26. Aplicación RedOS
27. SolarTech. “Deye inversor híbrido 15KW 2XMPPT SUN 15K-SG01HP3-EU-AM2”. Disponible en: [https://solartech.eu/es/p/deye-inversor-hibrido-15kw-2xmppt-sun-15k-sg01hp3-eu-am2/?gad\\_source=1&gl=1\\*s08xfo\\* up\\*MQ.\\* gs\\*MQ.&gclid=Cj0KCQiA4fi7BhC5ARIsAEV1YiZAdsspQDOKll3uqot1sP6r5sxbYdOb6m-Y4EOyiGARIE9cPB3PXJwaAmE5EALw\\_wcB](https://solartech.eu/es/p/deye-inversor-hibrido-15kw-2xmppt-sun-15k-sg01hp3-eu-am2/?gad_source=1&gl=1*s08xfo* up*MQ.* gs*MQ.&gclid=Cj0KCQiA4fi7BhC5ARIsAEV1YiZAdsspQDOKll3uqot1sP6r5sxbYdOb6m-Y4EOyiGARIE9cPB3PXJwaAmE5EALw_wcB).
28. Iberdrola. “Historia del hidrógeno verde”. Disponible en: <https://www.iberdrola.es/blog/sostenibilidad/historia-hidrogeno-verde>.
29. Iberdrola. “Electrolizador: el proceso clave para la producción de hidrógeno verde”. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>.
30. Apilados. “Tipos de pilas de combustible: su clasificación”. Disponible en: <https://apilados.com/blog/tipos-de-pilas-de-combustible-su-clasificacion/>.
31. Biblus. “Proyecto sobre hidrógeno y su aplicación”. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy//fichero/20043%252FVOLU MEN+1%252F6.pdf.pdf>.
32. Baxi. “Hidrógeno: ventajas y desventajas”. Disponible en: <https://www.baxi.es/blog/hidrogeno-ventajas-y-desventajas>.
33. Alsafe. “Hidrógeno, tanque de almacenamiento.” Disponible en: <https://www.alibaba.com/product-detail/50L-Seamless-Aluminum-Industrial->

- Hydrogen-Storage 60699768609.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\_offer.d\_title.677113a0sY8zgk.
34. Alibaba. “Boiler room Carbon Steel 30bar Hydrogen”. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Boiler-room-Carbon-Steel-30bar-Hydrogen-1600674836365.html>.
  35. Alibaba. “QL-500 CE certificated Factory direct”. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/QL-500-CE-certificated-Factory-direct-466724414.html>.
  36. Alibaba. “1.5KW Metal Plate Hydrogen Fuel”. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/1-5KW-metal-plate-hydrogen-fuel-1600288721460.html>
  37. Pneumatig. “Compresores de pistón Atlas Copco LT 10 Series 30 Bar”. Disponible en: <https://pneumatig.eu/es/compresores/compresores-de-piston/aceite-atlas-copco/lt-10-series-30-bar-atlas-copco.html>.
  38. Revista AEM. “Hidrógeno: riesgos y mantenimiento”. Disponible en: <https://revista.aem.es/noticia/hidrogeno-riesgos-y-mantenimiento>.
  39. TUV SUD. “Curso experto en hidrógeno verde”. Disponible en: [https://www.tuvsud.com/es-es/servicios/formacion/areas-formacion/sostenibilidad/curso-experto-hidrogeno-verde-cehv?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=2025\\_experto-hidrogeno%20verde&utm\\_term=curso%20hidrogeno%20verde&utm\\_id=19631989639&skwcid=AL!14017!3!646600620881!b!!g!!curso%20hidrogeno%20verde&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswyjmt3pnfqUe-KQYLQUZJk20NfesA7VzvoUNitWsH9sG8aS2CymfH\\_AaArLoEALw\\_wcB](https://www.tuvsud.com/es-es/servicios/formacion/areas-formacion/sostenibilidad/curso-experto-hidrogeno-verde-cehv?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=2025_experto-hidrogeno%20verde&utm_term=curso%20hidrogeno%20verde&utm_id=19631989639&skwcid=AL!14017!3!646600620881!b!!g!!curso%20hidrogeno%20verde&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswyjmt3pnfqUe-KQYLQUZJk20NfesA7VzvoUNitWsH9sG8aS2CymfH_AaArLoEALw_wcB).
  40. Agilent. “Gas leak detector”. Disponible en: [https://www.agilent.com/en/product/gas-purification-gas-management/gas-management/gas-leak-detector?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswyhJeMe7YQvxxw2yTHxbWMdKcOXj57l\\_aJFpRsiXsmRRxN7JEPrtO1W0aAtznEALw\\_wcB&gclidsrc=aw.ds#promotions](https://www.agilent.com/en/product/gas-purification-gas-management/gas-management/gas-leak-detector?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswyhJeMe7YQvxxw2yTHxbWMdKcOXj57l_aJFpRsiXsmRRxN7JEPrtO1W0aAtznEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds#promotions).
  41. Mator. “Ventiladores industriales de suelo”. Disponible en: <https://www.mator.es/ventilacion/ventiladores-industrial-suelo/>.
  42. Sandia National Laboratories. “Documento sobre baterías y almacenamiento de energía”. Disponible en: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/publications/SAND2015-3976.pdf>.
  43. Huntkey Energy Storage. “Flywheel energy storage”. Disponible en: <https://www.huntkeyenergystorage.com/es/flywheel-energy-storage/>.
  44. Amber Kinetics. “Producto de almacenamiento en volantes de inercia”. Disponible en: <https://amberkinetics.com/product/>.
  45. Amber Kinetics. “Data sheet”. Disponible en: <https://cdn.enfsolar.com/z/pp/f21ob7xbh/Amber-Kinetics-DataSheet.pdf>.
  46. Ecopositivo. “Ventajas y desventajas del almacenamiento en volantes de inercia”. Disponible en: <https://ecopositivo.com/ventajas-desventajas->

- [almacenamiento-volantes-inercia/#Cuales son las desventajas del almacenamiento en volantes de inercia.](#)
47. Thomann. “The t.akustik SA-N30 18pc Set”. Disponible en:  
[https://www.thomann.de/es/the\\_t.akustik\\_sa\\_n30\\_18pc\\_set.htm?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA4rK8BhD7ARIsAFe5LXJwWqX-x\\_cpHtLyKmaYI721or-chPHVxG9Np8aUBSrgP4p-Zut6T6EaAnfQEALw\\_wcB](https://www.thomann.de/es/the_t.akustik_sa_n30_18pc_set.htm?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4rK8BhD7ARIsAFe5LXJwWqX-x_cpHtLyKmaYI721or-chPHVxG9Np8aUBSrgP4p-Zut6T6EaAnfQEALw_wcB)
  48. Wikipedia. “Vanadio: historia”. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Vanadio#Historia.](https://es.wikipedia.org/wiki/Vanadio#Historia)
  49. Wikipedia. “Batería redox de vanadio”. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_redox\\_de\\_vanadio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_redox_de_vanadio)
  50. Endesa. “Baterías de vanadio: importancia en la transición energética”. Disponible en: [https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/baterias-vanadio-importancia-transicion-energetica.](https://www.endesa.com/es/la-cara-e/eficiencia-energetica/baterias-vanadio-importancia-transicion-energetica)
  51. Scielo. “Estudio sobre el uso de baterías redox de vanadio”. Disponible en:  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212010000300005](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212010000300005)
  52. Huntkey Energy Storage. “Batería redox de vanadio”. Disponible en:  
[https://www.huntkeyenergystorage.com/es/vanadium-redox-battery/.](https://www.huntkeyenergystorage.com/es/vanadium-redox-battery/)
  53. Alibaba. “VFB Flow Battery 10kW100kWh vanadium redox”. Disponible en:  
[https://www.alibaba.com/product-detail/VFB-Flow-Battery-10kW100kWh-vanadium-redox\\_1600669128220.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.532013a057IKlx.](https://www.alibaba.com/product-detail/VFB-Flow-Battery-10kW100kWh-vanadium-redox_1600669128220.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.532013a057IKlx)
  54. Zetatrades. “Contenedor depósito 1000 litros palet plástico”. Disponible en:  
[https://www.zetatrades.com/contenedor-deposito-1000-litros-palet-plastico?vID=16037&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswygyaCAYd3iGL3OkN9yfeTuQTsGUEjbRk1-6QamPiOW4xuXFeWSrQrcaAoSFEALw\\_wcB.](https://www.zetatrades.com/contenedor-deposito-1000-litros-palet-plastico?vID=16037&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAkJO8BhCGARIsAMkswygyaCAYd3iGL3OkN9yfeTuQTsGUEjbRk1-6QamPiOW4xuXFeWSrQrcaAoSFEALw_wcB)
  55. Servovendi. “Depósito tanque contenedor de agua Slimline 100L”. Disponible en: [https://servovendi.com/es/deposito-tanque-contenedor-de-agua-tapa-y-grifo-slimline-100l.html.](https://servovendi.com/es/deposito-tanque-contenedor-de-agua-tapa-y-grifo-slimline-100l.html)
  56. Universidad de Almería. “Normas de Edificación”. Disponible en:  
[https://w3.ual.es/Depar/proyectosingenieria/descargas/Normas\\_Edificacion/NBE-AE-88.pdf.](https://w3.ual.es/Depar/proyectosingenieria/descargas/Normas_Edificacion/NBE-AE-88.pdf)
  57. Naciones Unidas. “Objetivos de desarrollo sostenible”. Disponible en:  
[https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/.](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/)



# Capítulo 7: Anexos

## ***Anexo I: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible***

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son un conjunto de 17 metas propuestas por la ONU en 2015 que pretenden promover la protección del planeta, el bienestar social y el desarrollo económico. Los objetivos han de ser promovidos por los países y pretenden construir un mundo mejor para 2030. El estudio se alinea con varios de estos objetivos y contribuye de la siguiente manera a ellos:



*Ilustración 25: ODS 7*

**ODS 7:** Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. El desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía comprometidos con el medio ambiente aumenta el acceso a energías limpias debido a que permite su almacenamiento y su consumo posterior. El almacenamiento de energía es uno de los principales problemas de algunas energías procedentes de fuentes renovables.



*Ilustración 26: ODS 9*

**ODS 9:** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. El estudio pretende mejorar la sustentabilidad de los edificios, permitiéndoles depender menos de la energía suministrada por la red, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y permitiendo a las empresas ser más sostenibles.



*Ilustración 27: ODS 11*

**ODS 11:** Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. El nivel de consumo de energía es uno de los principales retos a los que se someten las ciudades. Con la implantación de los sistemas de almacenamiento de energía estudiados, se conseguirá reducir la dependencia energética de las comunidades y las ciudades de la red.



*Ilustración 28: ODS 12*

**ODS 12:** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. La principal medida que propone este objetivo se alinea completamente con este objetivo, el de sustituir los sistemas de suministro eléctrico por otros más sostenibles.



**ODS 13:** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Los sistemas de almacenamiento estudiados pretenden reducir la dependencia energética de la red, y así conseguir reducir las emisiones de gases contaminantes que contribuyen al efecto invernadero; lo que ayudaría a combatir el cambio climático.

*Ilustración 29: ODS 13*

## Anexo II: Planificación del proyecto

La cronología seguida para la realización del trabajo es la siguiente:

| Tarea                                                       | Mes                                                                               |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                             | Octubre                                                                           | Noviembre                                                                          | Diciembre                                                                             | Enero                                                                                 |
| Investigación Tecnologías                                   |  |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |
| Anexo B                                                     |                                                                                   |   |                                                                                       |                                                                                       |
| Análisis de viabilidad técnica de las tecnologías escogidas |                                                                                   |  |                                                                                       |                                                                                       |
| Análisis de viabilidad económica                            |                                                                                   |                                                                                    |     |                                                                                       |
| Comparativa de las tecnologías                              |                                                                                   |                                                                                    |    |                                                                                       |
| Reflexión ODS                                               |                                                                                   |                                                                                    |   |                                                                                       |
| Revisión                                                    |                                                                                   |                                                                                    |  |                                                                                       |
| Presentación Intermedia                                     |                                                                                   |                                                                                    |   |                                                                                       |
| Presentación Final                                          |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |  |
| Memoria                                                     |                                                                                   |                                                                                    |   |                                                                                       |

Tabla 54: Cronología del proyecto

---

### ***Anexo III: Hojas de características***

A continuación, se muestran las diferentes hojas de características de los distintos elementos empleados en los análisis de viabilidad técnica.



## Easy Battery 10 kWh HV

### Datos Eléctricos

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Capacidad nominal                     | 10 kWh (115.64Ah)     |
| Voltaje nominal                       | 87,5 Vdc              |
| Rango Voltaje funcionamiento          | 79,2 - 101 Vdc        |
| Intensidad máxima de carga o descarga | 125 A                 |
| Potencia máxima                       | 9000 W                |
| Expectativa de vida                   | >10 años              |
| Configuración de la batería           | Serie paralelo 24s/2p |

### Datos Generales

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BMS datos técnicos                                     | <b>Protecciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanceo Activo</li> <li>• Vmax / Vmin</li> <li>• Cortocircuito</li> <li>• Imax</li> <li>• Temp</li> </ul>                                         |
| Temperatura funcionamiento                             | -10°C a 45°C                                                                                                                                                                                                     |
| Temperatura almacenamiento                             | -10°C a 45°C                                                                                                                                                                                                     |
| Temperatura optima                                     | 0°C a 30°C                                                                                                                                                                                                       |
| Humedad                                                | <85%                                                                                                                                                                                                             |
| Comunicación BMS                                       | Bluetooth / CAN (Opcional)                                                                                                                                                                                       |
| Parámetros de monitorización por el BMS                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión del sistema y de células</li> <li>• Intensidad</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Delta</li> <li>• Potencia</li> <li>• SoC</li> <li>• Ciclos de carga</li> </ul> |
| Tensión nominal de impulso soportada (uimp)            | 0.5kV OVCII PD2                                                                                                                                                                                                  |
| Tensión nominal de aislamiento (ui)                    | Conectores: 1000Vdc                                                                                                                                                                                              |
| Aislamiento                                            | 450/750V para circuitos con 110Vdc max.                                                                                                                                                                          |
| Grado de contaminación del macroambiente               | PD2                                                                                                                                                                                                              |
| Tipo de sistema puesta a tierra                        | Interior (uso estacionario)                                                                                                                                                                                      |
| Grado de protección                                    | IP20                                                                                                                                                                                                             |
| Clasificación de compatibilidad electromagnética (cem) | A (Entorno Industrial)                                                                                                                                                                                           |
| Diseño externo                                         | Conjunto bajo envolvente                                                                                                                                                                                         |
| Cables de conexión positivo y negativo                 | Incluido                                                                                                                                                                                                         |

### Datos Mecánicos

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| Medidas (mm) Largo x Ancho x Alto | 770 x 600 x 230      |
| Peso                              | 73,5 kg              |
| Montaje                           | En pared             |
| Certificaciones                   | CE, UN38.3           |
| Pruebas                           | IEC 62619, IEC 61439 |
| Garantía                          | 10 años limitada     |

Los datos anteriores están sujetos a cambios sin previo aviso.

Póngase en contacto con su distribuidor para obtener la información más reciente. Número de versión: 07.24



## Easy Battery 10 kWh HV

### Electrical Data

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Nominal Capacity                    | 10 kWh (115.64Ah)      |
| Nominal Voltage                     | 87.5 Vdc               |
| Operating voltage range             | 79.2 - 101 Vdc         |
| Maximum charge or discharge current | 125 A                  |
| Maximum power                       | 9000 W                 |
| Life expectancy                     | >10 years              |
| Battery configuration               | Parallel series 24s/2p |

### General data

|                                            |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BMS technical data                         | <b>Protections:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Active Balancing</li> <li>• Vmax / Vmin</li> <li>• Short circuit</li> <li>• Imax</li> <li>• Temp</li> </ul>                 |
| Operating temperature                      | -10°C to 45°C                                                                                                                                                                            |
| Storage temperature                        | -10°C to 45°C                                                                                                                                                                            |
| Optimum temperature                        | 0°C to 30°C                                                                                                                                                                              |
| Humidity                                   | <85%                                                                                                                                                                                     |
| BMS communication                          | Bluetooth / CAN (Optional)                                                                                                                                                               |
| BMS monitoring parameters                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• System and cell voltage</li> <li>• Current</li> <li>• Temperature</li> <li>• Delta</li> <li>• Power</li> <li>• SoC</li> <li>• Cycles</li> </ul> |
| Rated impulse withstand voltage (uimp)     | 0.5kV OVCII PD2                                                                                                                                                                          |
| Rated insulation voltage (ui)              | Connectors: 1000Vdc                                                                                                                                                                      |
| Insulation                                 | 450/750V for circuits with 110Vdc max.                                                                                                                                                   |
| Degree of macro-environment contamination  | PD2                                                                                                                                                                                      |
| Type of grounding system                   | Indoor (stationary use)                                                                                                                                                                  |
| Degree of protection                       | IP20                                                                                                                                                                                     |
| Electromagnetic compatibility rating (cem) | A (Industrial environment) External design Industrial)                                                                                                                                   |
| External design                            | Under enclosure assembly                                                                                                                                                                 |
| Positive and negative connection cables    | Included                                                                                                                                                                                 |

### Mechanical Data

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Dimensions (mm) L x W x H | 770 x 600 x 230      |
| Weight                    | 73.5 kg              |
| Mounting                  | Wall mounted         |
| Certifications            | CE, UN38.3           |
| Testing                   | IEC 62619, IEC 61439 |
| Warranty                  | 10 years limited     |

The above data is subject to change without notice.

Please contact your distributor for the latest information. Version number: 07.24



Fácil instalación



Confiable

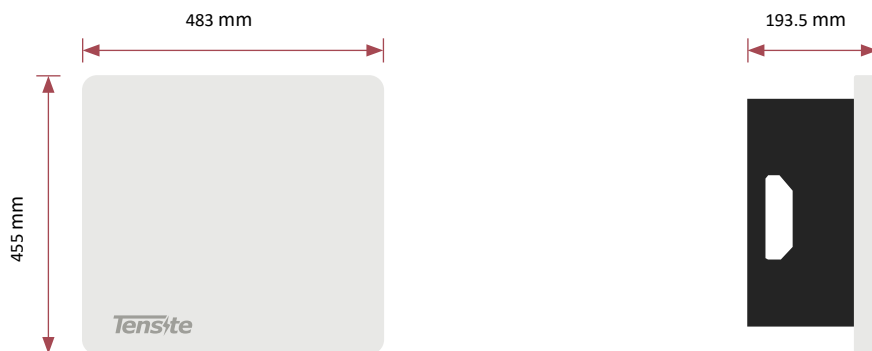


Fácil de usar



Años de garantía del producto

### DIMENSIONES



|                         |                                                                                         |                                            |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Entrada Fotovoltaica    | Máx. potencia del conjunto fotovoltaico                                                 | 9000 Wp STC                                |
|                         | Tensión de entrada máx.                                                                 | 550 V                                      |
|                         | Rango de tensión MPPT/ Tensión nominal de entrada                                       | 40 V a 530 V / 380 V                       |
|                         | Tensión mínima de entrada/ Tensión de arranque                                          | 40 V / 50 V                                |
|                         | Nº de rastreadores MPPT independientes/cadenas por entrada MPPT                         | 2/1                                        |
|                         | Corriente de entrada máx. por MPPT                                                      | 16 A                                       |
|                         | Corriente de cortocircuito por MPPT                                                     | 20 A                                       |
| Entrada de la batería   | Tensión nominal de la batería                                                           | 48 V                                       |
|                         | Rango de tensión de la batería                                                          | 40 V a 60 V                                |
|                         | Corriente de carga máx./Corriente de descarga máx.                                      | 100 A / 100 A                              |
|                         | Tipo de batería                                                                         | Li-Ion                                     |
| Salida de CA            | Tensión nominal de CA / Rango de tensión de CA                                          | 230 V / 180 V a 280 V                      |
|                         | Frecuencia nominal de la red de CA                                                      | 50Hz / 60Hz                                |
|                         | Rango de frecuencia de la red de CA                                                     | 50 Hz/45 Hz a 55 Hz   60 Hz/ 45 Hz a 55 Hz |
|                         | Potencia activa nominal                                                                 | 6000 W                                     |
|                         | Potencia aparente nominal                                                               | 6000 VA                                    |
|                         | Potencia aparente máx.                                                                  | 6000 VA                                    |
|                         | Corriente nominal de salida de la red (@230V)                                           | 26.1 A                                     |
|                         | Corriente máx. de salida de la red                                                      | 27.3 A                                     |
|                         | Armónicos THDi (potencia nominal)                                                       | < 3%                                       |
| Entrada de CA           | Tensión nominal de la red                                                               | a.c. 230 V                                 |
|                         | Frecuencia nominal de la red                                                            | 50Hz / 60Hz                                |
|                         | Potencia aparente nominal                                                               | 6000 VA                                    |
|                         | Potencia aparente de entrada máx. desde la red                                          | 6000 VA                                    |
|                         | Corriente nominal de entrada desde la red                                               | a.c. 26.1 A                                |
|                         | Corriente máx. de entrada desde la red                                                  | a.c. 27.3 A                                |
| Producción de EPS       | Tensión nominal de salida                                                               | 230 V                                      |
|                         | Frecuencia nominal de salida                                                            | 50Hz / 60Hz                                |
|                         | Potencia aparente nominal                                                               | 5000 VA                                    |
|                         | Potencia aparente de salida máx.                                                        | 5000 VA                                    |
|                         | Pico de potencia aparente de salida                                                     | 7500 VA, 10s                               |
|                         | Corriente nominal (a 230 V)                                                             | 21.7 A                                     |
|                         | Corriente de salida máx.                                                                | 21.7 A                                     |
|                         | Tiempo máx. de conmutación                                                              | ≤10 ms                                     |
| Eficiencia              | Efficiencia del MPPT                                                                    | 99.9%                                      |
|                         | Efficiencia máx. / Efficiencia europea                                                  | 97.6% / 97%                                |
|                         | Efficiencia máx. de la batería con respecto a la carga                                  | 94.7%                                      |
| Protección de Seguridad | Dispositivo de desconexión del lado de CC                                               | ●                                          |
|                         | Protección de polaridad inversa de la entrada de la batería / cadena fotovoltaica       | ● / ●                                      |
|                         | Unidad de monitoreo de corriente residual omnipolar                                     | ●                                          |
|                         | Protección anti-islas                                                                   | ●                                          |
|                         | Protección contra fallos de tierra                                                      | ●                                          |
|                         | Protección de la polaridad inversa de la entrada de la batería/ cadena fotovoltaica     | ● / ●                                      |
|                         | Protección contra sobretensión de CA                                                    | ●                                          |
|                         | Clase de protección (según IEC 62109-1) / Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1) | I / CA: III; CC: II                        |
| Datos Generales         | Factor de potencia a potencia nominal/ desplazamiento ajustable                         | ≥0.99/0.8 capacitivo - 0.8 inductivo       |
|                         | Dimensiones (ancho/alto/largo/)                                                         | 483 / 455 / 193.5 mm                       |
|                         | Peso del dispositivo                                                                    | 25.1 kg                                    |
|                         | Rango de temperaturas de funcionamiento                                                 | -25°C ... +60°C                            |
|                         | Emisiones acústicas (típicas)                                                           | 30 dB (A)                                  |
|                         | Consumo en espera                                                                       | < 10 W                                     |
|                         | Concepto de enfriamiento                                                                | Convección natural                         |
|                         | Grado de protección (según IEC 60529)                                                   | IP66                                       |
|                         | Categoría climática (según IEC 60721-3-4)                                               | 4K4H                                       |
|                         | Valor máx. admisible de humedad relativa (sin condensación)                             | 100%                                       |
| Características         | Altitud máx. en funcionamiento                                                          | 4000 m (> 3000 m reducción de potencia)    |
|                         | Interfaz de usuario                                                                     | LED y aplicación                           |
|                         | Comunicación con BMS                                                                    | RS485 / CAN                                |
|                         | Comunicación con meter                                                                  | RS485                                      |
|                         | Comunicación con el portal                                                              | Dongle Wi-Fi                               |
|                         | Otra comunicación                                                                       | DRM                                        |
|                         | Control de potencia integrado / Vertido cero                                            | ● / ●                                      |
|                         | Control de sombras                                                                      | ●                                          |

● Características estándar ○ Características opcionales - No disponible

# Amber Kinetics M32

## The Industry's Only Long-Duration Kinetic Energy Storage System (KESS)—Enabling Highly Efficient Industrial and Commercial Applications

### A Booming Energy Storage Market

The global energy storage market is vast and growing. Driven by increased penetration of intermittent renewable power and the decarbonization of grids, annual installations are projected to increase from 6 GW in 2017 to over 40 GW by 2022. Storage is necessary to integrate energy resources and provide the types of ancillary services historically provided by conventional power plants. The versatility of storage—capturing excess renewable generation during off-peak hours and discharging during peak hours—enables utilities to satisfy Renewable Portfolio Standard (RPS) mandates and avoid costly Transmission and Distribution (T&D) upgrades and investments, with savings passed through to rate payers.

### Key Benefits

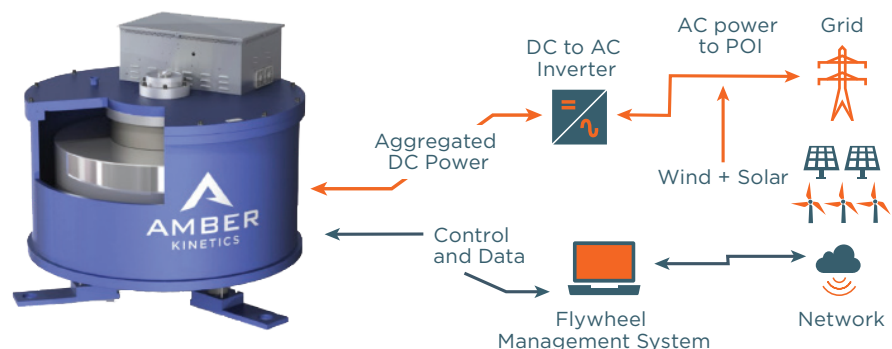
- No degradation allows for **Unlimited Daily Cycling**
- High modularity equates to **High Availability** at site level
- Low O&M cost drives **Excellent Financial Performance**

### Advantages Over Chemical Batteries

- >86% round trip efficiency (DC)
- No daily cycling limitations
- No degradation over time
- No HVAC required
- Operates in hot and cold environments (-20C to 50C)
- Fast response time (<1 second)
- Recyclable all-steel design
- Lower O&M cost
- 30-year design life
- 10-year manufacturer warranty

### Product Overview

The **Amber Kinetics M32** (8kW,32kWh) is the first commercialized four-hour discharge duration Kinetic Energy Storage System (KESS) powered by advanced flywheel technology that stores 32 kWh of energy in a two-ton steel rotor. When grouped together, similar to solar PV panels, the individual flywheels can be scaled up to tens or even hundreds of megawatts. Amber Kinetics has engineered a flywheel to meet the energy storage needs of the modern grid—at a lower cost and higher efficiency than gas-peakers or pumped hydro.



## Application and Use Cases\*

Technology solution providers can integrate the M32 for multiple applications that may satisfy their customer needs. The M32 can be scaled up to tens or hundreds of megawatts for grid connected or grid forming applications.



### Microgrids

- Capacity
- Energy Firming



### Utility / IPP “Front of the Meter”

- Capacity/Demand Reduction
- Energy Arbitrage
- Ancillary Services
- T&D Deferral
- Solar + Storage



### Commercial/Industrial “Behind the Meter”

- Demand Reduction
- Energy Firming

## M32 Product Details (Preliminary)

| Performance                      |                                                                                                                                 |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nameplate Energy Capacity (DC)   | 32 kWh                                                                                                                          |
| Nameplate Power Capacity (DC)    | 8 kW                                                                                                                            |
| Discharge Duration               | 4 hours (min.)                                                                                                                  |
| Efficiency (DC)                  | >86% (Round Trip includes Self Discharge)                                                                                       |
| Cycle Design Life                | 11,000 cycles (no daily cycling limitations)**                                                                                  |
| GHG Emissions                    | None                                                                                                                            |
| Environmental                    |                                                                                                                                 |
| Temperature (operating & idle)   | -20C to 50C                                                                                                                     |
| Humidity                         | 100% condensing                                                                                                                 |
| Electrical***                    |                                                                                                                                 |
| DC Input-Output Voltage          | 550 Vdc – 750 Vdc                                                                                                               |
| Self Discharge                   | <100 W****                                                                                                                      |
| Auxiliary Discharge (120-240Vac) | <55 W (coasting), <140 W (active)*****                                                                                          |
| Full Power Response Time         | <1 second                                                                                                                       |
| Approved Inverters               | Ideal Power 30C.<br>Sinexcel under development.<br>Contact Amber Kinetics for others.                                           |
| Mechanical                       |                                                                                                                                 |
| Dimensions (housing)             | 52" x 54" (h x d), includes electronics housing                                                                                 |
| Installation                     | Below grade                                                                                                                     |
| System Weight                    | 10,500 lbs                                                                                                                      |
| Communications                   | Compatible with Internet-based SCADA system using DNP3 protocol or script-based dispatch.<br>Modbus protocol under development. |
| Standards Compliance             |                                                                                                                                 |
| Australia/New Zealand            | AS/NZS 3820:2009 and AS/NZS CISPR 11:2011, Class A emission levels.                                                             |

\* Customers should partner with project developer/solutions developers to customize these applications.

\*\* Amber Kinetics offers a limited warranty of system for 10 years after purchase date.

\*\*\* Assuming installation, use and maintenance of system in compliance with the Amber Kinetics Installation and User Manual. Failure to comply will result in decreased performance. All specifications are based on Amber Kinetics standard test protocol during charge/discharge cycles.

\*\*\*\* Average over charge/discharge cycle.

\*\*\*\*\* Average over SOC range.

## About Amber Kinetics

Amber Kinetics is the industry-leader in manufacturing grid-scale kinetic energy storage systems (KESS). As the only provider of long-duration flywheel energy storage, Amber Kinetics extends the duration and efficiency of flywheels from minutes to hours—resulting in safe, economical and reliable energy storage.



### U.S. Headquarters

32920 Alvarado Niles Rd, #250 Union City, CA 94587

### Philippines Headquarters

2nd Floor Corporate Business Centre, 151 Paseo De Roxas, Makati City, Philippines 1223

### Australia Headquarters

79 Broadway, Nedlands, WA, 6009, Australia

[amberkinetics.com](http://amberkinetics.com)

# DRUM FAN VENTILADOR PORTÁTIL

Pantallas de ventilación



## VENTILADORES DRUM FAN

### Consigue un gran volumen de aire

Ventiladores de alta calidad.

Nuestros ventiladores de tambor están hechos de metal por lo que tienen una durabilidad excepcional.

Es excelente para soportar trabajos duros: polvo, escombros en talleres, garajes...

Diseñado para girar 180 grados

Inclinación ajustable para dirigir el caudal de aire preciso exactamente donde lo necesites.

Para mayor comodidad tiene 2 ruedas de goma y un asa para su cómodo transporte.

Potentes aspas de aluminio,

Con mantenimiento adecuado y limpieza regular, este ventilador industrial sobre ruedas está diseñado para durar muchos años.



DE EXPERIENCIA



SERVICIO TÉCNICO  
RÁPIDO Y EFICAZ



MANTENIMIENTO  
ANUAL PREVENTIVO



100%  
CASOS DE ÉXITO



DEMOSTRACIONES Y  
PUESTA EN MARCHA



GARANTÍA



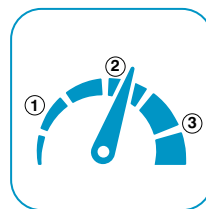
TRANSPORTE  
A DOMICILIO



Diseñado para girar  
180 grados



2 ruedas para su  
cómodo transporte



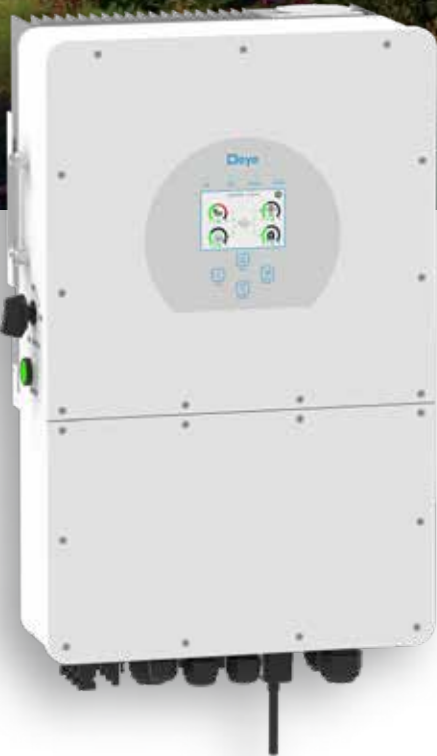
Tres velocidades  
diferentes

| CARACTERÍSTICAS        | DRUM FAN CFT- 24 | DRUM FAN CFT- 36 |
|------------------------|------------------|------------------|
| Código                 | 048/0010007      | 048/0010008      |
| Caudal de aire         | 13.200 m³/h      | 19.200 m³/h      |
| Potencia eléctrica     | 195 W            | 290 W            |
| Tensión de servicio    | Monofásico       | Monofásico       |
| Velocidades            | 3 velocidades    | 3 velocidades    |
| Revoluciones           | 1.100 r.p.m.     | 1.100 r.p.m.     |
| Diámetro de ventilador | 600 mm           | 900 mm           |
| Dimensiones            | 76x29x77 cm      | 108x31x111 cm    |
| Peso                   | 16 Kg            | 30 Kg            |



# Three Phase Hybrid Inverter

SUN- 6 / 8 / 10 / 12 / 15 / 20 K-SG01HP3-EU-AM2



- 100** 100% unbalanced output, each phase; Max. output up to **50%** rated power
-  DC couple and AC couple to retrofit existing solar system
- 10** Max. 10pcs parallel for on-grid and off-grid operation; Support multiple batteries parallel
- 37** Max. charging/discharging current of 37A
- H** High voltage battery, higher efficiency
- 6** 6 time periods for battery charging/discharging
-  Support storing energy from diesel generator

**Deye**

Stock Code: 605117.SH

| Model                                                | SUN-6K-SG01HP3<br>-EU-AM2                                                                                                                                                                                                                           | SUN-8K-SG01HP3-<br>EU-AM2 | SUN-10K-SG01HP3<br>-EU-AM2 | SUN-12K-SG01HP3<br>-EU-AM2 | SUN-15K-SG01HP3<br>-EU-AM2 | SUN-20K-SG01HP3<br>-EU-AM2 |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Battery Input Data                                   |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Battery Type                                         | Li-Ion                                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Battery Voltage Range (V)                            | 160~700                                                                                                                                                                                                                                             |                           |                            |                            |                            |                            |
| Max. Charging Current (A)                            | 37                                                                                                                                                                                                                                                  |                           |                            |                            |                            |                            |
| Max. Discharging Current (A)                         | 37                                                                                                                                                                                                                                                  |                           |                            |                            |                            |                            |
| Number of battery input                              | 1                                                                                                                                                                                                                                                   |                           |                            |                            |                            |                            |
| Charging Strategy for Li-Ion Battery                 | Self-adaption to BMS                                                                                                                                                                                                                                |                           |                            |                            |                            |                            |
| PV String Input Data                                 |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Max. DC Input Power (W)                              | 7800                                                                                                                                                                                                                                                | 10400                     | 13000                      | 15600                      | 19500                      | 26000                      |
| Max. DC Input Voltage (V)                            | 1000                                                                                                                                                                                                                                                |                           |                            |                            |                            |                            |
| Start-up Voltage (V)                                 | 180                                                                                                                                                                                                                                                 |                           |                            |                            |                            |                            |
| MPPT Range (V)                                       | 150-850                                                                                                                                                                                                                                             |                           |                            |                            |                            |                            |
| Full Load DC Voltage Range (V)                       | 195-850                                                                                                                                                                                                                                             | 260-850                   | 325-850                    | 340-850                    | 423-850                    | 500-850                    |
| Rated DC Input Voltage (V)                           | 600                                                                                                                                                                                                                                                 |                           |                            |                            |                            |                            |
| PV Input Current (A)                                 | 20+20                                                                                                                                                                                                                                               |                           |                            | 26+20                      |                            | 26+26                      |
| Max. PV I <sub>SC</sub> (A)                          | 23+23                                                                                                                                                                                                                                               |                           |                            | 32+23                      |                            | 32+32                      |
| No.of MPP Trackers                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                   |                           |                            |                            |                            |                            |
| No.of Strings per MPP Tracker                        | 1                                                                                                                                                                                                                                                   |                           |                            | 2+1                        |                            | 2                          |
| AC Output Data                                       |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Rated AC Output and UPS Power (W)                    | 6000                                                                                                                                                                                                                                                | 8000                      | 10000                      | 12000                      | 15000                      | 20000                      |
| Max. AC Output Power (W)                             | 6600                                                                                                                                                                                                                                                | 8800                      | 11000                      | 13200                      | 16500                      | 22000                      |
| AC Output Rated Current (A)                          | 9.1/8.1                                                                                                                                                                                                                                             | 12.2/11.6                 | 15.2/14.5                  | 18.2/17.4                  | 22.8/21.8                  | 30.3/29                    |
| Max. AC Current (A)                                  | 13                                                                                                                                                                                                                                                  | 18                        | 22                         | 25                         | 30                         | 35                         |
| Max. Continuous AC Passthrough (A)                   | 80                                                                                                                                                                                                                                                  |                           |                            |                            |                            |                            |
| Peak Power (off grid)                                | 1.5 time of rated power, 10 S                                                                                                                                                                                                                       |                           |                            |                            |                            |                            |
| Generator input/Smart load<br>/AC couple current (A) | 9.1 / 80 / 9.1                                                                                                                                                                                                                                      | 12.2 / 80 / 12.2          | 15.2 / 80 / 15.2           | 18.2 / 80 / 18.2           | 22.8 / 80 / 22.8           | 30.3 / 80 / 30.3           |
| Power Factor                                         | 0.8 leading to 0.8 lagging                                                                                                                                                                                                                          |                           |                            |                            |                            |                            |
| Output Frequency and Voltage                         | 50/60Hz; 3L/N/PE 220/380, 230/400Vac                                                                                                                                                                                                                |                           |                            |                            |                            |                            |
| Grid Type                                            | Three Phase                                                                                                                                                                                                                                         |                           |                            |                            |                            |                            |
| DC injection current (mA)                            | <0.5%1n                                                                                                                                                                                                                                             |                           |                            |                            |                            |                            |
| Efficiency                                           |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Max. Efficiency                                      | 97.60%                                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Euro Efficiency                                      | 97.00%                                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| MPPT Efficiency                                      | 99.90%                                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Protection                                           |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Integrated                                           | PV Input Lightning Protection, Anti-islanding Protection, PV String Input Reverse Polarity Protection, Insulation Resistor Detection, Residual Current Monitoring Unit, Output Over Current Protection, Output Shorted Protection, Surge protection |                           |                            |                            |                            |                            |
| Output Over Voltage Protection                       | DC Type II/AC Type III                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Certifications and Standards                         |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Grid Regulation                                      | EN50549, AS4777.2:2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDEN4105-2018, G99                                                                                                                                                                                   |                           |                            |                            |                            |                            |
| Safety EMC / Standard                                | IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| General Data                                         |                                                                                                                                                                                                                                                     |                           |                            |                            |                            |                            |
| Operating Temperature Range ( )                      | -40~60℃, >45℃ derating                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Cooling                                              | Smart cooling                                                                                                                                                                                                                                       |                           |                            |                            |                            |                            |
| Noise (dB)                                           | <45 dB                                                                                                                                                                                                                                              |                           |                            |                            |                            |                            |
| Communication with BMS                               | RS485; CAN                                                                                                                                                                                                                                          |                           |                            |                            |                            |                            |
| Weight (kg)                                          | 30.5                                                                                                                                                                                                                                                |                           |                            |                            |                            |                            |
| Size (mm)                                            | 408W×638H×237D                                                                                                                                                                                                                                      |                           |                            |                            |                            |                            |
| Protection Degree                                    | IP65                                                                                                                                                                                                                                                |                           |                            |                            |                            |                            |
| Installation Style                                   | Wall-mounted                                                                                                                                                                                                                                        |                           |                            |                            |                            |                            |
| Warranty                                             | 5 years                                                                                                                                                                                                                                             |                           |                            |                            |                            |                            |