



# Sistemas aislados de generación eléctrica con baterías

## Caso práctico: vivienda aislada con fotovoltaica

Salvador Cucó Pardillos

2ª edición



**Editorial**

Universitat Politècnica  
de València

Salvador Cuco Pardillos

# **Sistemas aislados de generación eléctrica con baterías**

**Caso práctico: vivienda aislada con fotovoltaica**

**2ª edición**

Colección *Académica* [http://tiny.cc/edUPV\\_aca](http://tiny.cc/edUPV_aca)

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita:

Cuco Pardillos, Salvador (2023). *Sistemas aislados de generación eléctrica con baterías. Caso práctico: vivienda aislada con fotovoltaica (2ª ed.)*. Valencia: edUPV

© Salvador Cuco Pardillos

© 2023, edUPV

Venta: [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0238\_05\_02\_01

ISBN: 978-84-1396-145-3

Depósito Legal: V-XXXX-2023

Imprime: Byprint Percom, S. L.

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es)

edUPV se compromete con la ecoimpresión y utiliza papeles de proveedores que cumplen con los estándares de sostenibilidad medioambiental <https://editorialupv.webs.upv.es/compromiso-medioambiental/>

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es)

Impreso en España

A mi mujer Elena y a mis tres hijos Boro, Paula y Elena  
A mi padre y a mi madre



## **Agradecimientos**

A Oscar Arauz, sin cuyo apoyo no habría sido posible esta obra.

A mi hermano Federico por su constante confianza.

Mi agradecimiento más grande a mi mujer Elena y mis tres hijos Boro, Paula y Elena por el tiempo que no les he podido dedicar durante la redacción de este texto.



## Presentación

El texto que se acompaña es el resultado del desarrollo de unos apuntes, redactados para atender la demanda de cursos sobre la materia de la generación con almacenamiento.

El texto desarrolla todo el estado del arte relacionado con el almacenamiento de energía en baterías y aporta el desarrollo, con un estilo sencillo y práctico, de una instalación concreta que es desarrollado con todo detalle.

Si bien puede parecer, a primera vista, que la publicación tiene un carácter técnico, dirigido sólo a ingenieros, cabe señalar que la incorporación de un ejemplo desarrollado con gran detalle, la redacción de un apartado en el que se expone y estructura el procedimiento administrativo y otro tema sobre los aspectos económicos, unido a un enfoque profesional con una importante cantidad de información práctica, hace recomendable este texto a otros profesionales, como pueden ser instaladores y público en general.

Entrando en el contenido del texto, éste incluye todos los conceptos y cálculos necesarios para la determinación de todos los elementos de la instalación de generación con almacenamiento, el análisis económico y la legalización.

Se destaca que el desarrollo del ejercicio pretende encontrarse con todos los problemas habituales en la redacción de un proyecto de estas características y su materialización. De forma deliberada, se repiten los razonamientos y las referencias a normativa en todos los desarrollos, con el objeto final de que el lector asimile los conceptos y cálculos, y no los olvide a las pocas horas. Este método de redacción también resulta útil posteriormente si se utiliza este texto como documento de consulta rápida.

Si bien se utiliza la normativa de España, el texto puede aplicarse a otros países, sin más que adaptarse a su normativa correspondiente.

Esta segunda edición aporta la utilización de paneles de mayor potencia, una mejora de los razonamientos para la conexión de los mismos y la resolución del caso práctico con baterías de ion-Litio, actualmente usadas mayoritariamente.

El lector se encuentra ante un libro, estructurado y práctico, cuya lectura permite adquirir un conocimiento de conjunto suficiente para el desarrollo de instalaciones de generación con baterías.

Este texto está en permanente revisión y actualización, por lo que se indica a continuación la dirección de correo electrónico, donde el lector puede remitir sus comentarios, sugerencias, errores detectados, etc., para su consideración en ediciones posteriores: [scucop@telefonica.net](mailto:scucop@telefonica.net).

Julio de 2023  
Salvador Cucó Pardillos  
Ingeniero Superior Industrial





# Índice

|  |    |
|--|----|
| 1 Principio de funcionamiento .....  | 1  |
| 2 El acumulador .....  | 2  |
| 2.1 Acumulador de arranque.....  | 2  |
| 2.2 Acumulador de tracción .....   | 3  |
| 2.3 Acumulador estacionario .....  | 4  |
| 3 El acumulador de plomo-ácido.....  | 5  |
| 3.1 Elementos del acumulador .....   | 5  |
| 3.2 Reacciones químicas en el acumulador durante la descarga.....          | 8  |
| 3.3 Reacciones químicas en el acumulador durante la carga.....             | 10 |
| 3.4 Capacidad del acumulador .....   | 11 |
| 3.5 Profundidad de descarga .....  | 12 |
| 3.6 Vida de un acumulador .....  | 14 |
| 3.7 Autodescarga.....  | 15 |
| 3.8 Efecto memoria.....  | 15 |
| 3.9 Tipos de acumuladores de plomo-ácido, en función de su estructura..... | 15 |
| 3.9.1 Acumuladores húmedos (OPzS).....                                     | 15 |
| 3.9.2 Acumuladores secos (OPzV) .....                                      | 15 |
| 3.9.3 Significado de las siglas de las baterías de plomo.....              | 16 |
| 3.10 Valores comerciales.....  | 17 |
| 3.11 Valores límite y protecciones.....                                    | 17 |
| 3.12 Conexión serie-paralelo.....  | 18 |
| 3.13 Selección de la tensión del banco de baterías .....                   | 19 |
| 3.14 Precios de mercado.....   | 19 |
| 3.15 Garantías .....   | 20 |
| 3.16 Densidad de energía.....  | 20 |
| 3.17 Requerimientos de seguridad .....                                     | 20 |
| 3.18 Mantenimiento .....   | 20 |
| 4 El acumulador de ion-Litio .....   | 21 |
| 4.1 Elementos del acumulador .....   | 21 |
| 4.2 Descarga.....  | 22 |
| 4.3 Carga.....   | 22 |

|  |    |
|--|----|
| 4.4 Capacidad del acumulador .....                       | 24 |
| 4.5 Profundidad de descarga.....                         | 24 |
| 4.6 Vida de un acumulador.....                           | 25 |
| 4.7 Autodescarga .....                                   | 26 |
| 4.8 Efecto memoria .....                                 | 26 |
| 4.9 Valores comerciales .....                            | 26 |
| 4.10 Valores límite y protecciones .....                 | 27 |
| 4.11 Conexión serie paralelo.....                        | 28 |
| 4.12 Selección de la tensión del banco de baterías ..... | 29 |
| 4.13 Compatibilidad batería-regulador-inversor .....     | 30 |
| 4.14 Precios de mercado .....                            | 30 |
| 4.15 Garantías .....                                     | 30 |
| 4.16 Densidad de energía .....                           | 30 |
| 4.17 Requerimientos de seguridad.....                    | 30 |
| 4.18 Mantenimiento .....                                 | 31 |
| 5 Comparativa entre tecnologías.....                     | 31 |
| 6 El regulador.....                                      | 32 |
| 7 El inversor/cargador.....                              | 34 |
| 8 Ejemplo de cálculo. Vivienda aislada con plomo .....   | 35 |
| 8.1 Normativa de aplicación .....                        | 36 |
| 8.2 Esquema general de la instalación .....              | 37 |
| 8.3 Necesidades energéticas.....                         | 38 |
| 8.4 Módulos fotovoltaicos. Potencia pico .....           | 39 |
| 8.5 Regulador .....                                      | 46 |
| 8.6 Acumulador o batería .....                           | 48 |
| 8.7 Inversor-cargador .....                              | 54 |
| 8.8 Conducciones eléctricas.....                         | 55 |
| 8.8.1 Conexión series de módulos – repartidor .....      | 55 |
| 8.8.2 Conexión repartidor- regulador.....                | 61 |
| 8.8.3 Conexión regulador – batería.....                  | 65 |
| 8.8.4 Conexión batería – inversor .....                  | 68 |
| 8.8.5 Conexión inversor-carga .....                      | 71 |
| 8.8.6 Pérdidas totales .....                             | 76 |
| 8.8.7 Esquema final .....                                | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.9 Presupuesto .....                                  | 78  |
| 8.10 Ampliaciones.....                                 | 78  |
| 8.11 Grandes potencias.....                            | 79  |
| 9 Ejemplo de cálculo. Vivienda aislada con litio ..... | 81  |
| 9.1 Normativa de aplicación .....                      | 81  |
| 9.2 Esquema general de la instalación.....             | 82  |
| 9.3 Necesidades energéticas .....                      | 83  |
| 9.4 Módulos fotovoltaicos. Potencia pico.....          | 83  |
| 9.5 Regulador.....                                     | 91  |
| 9.6 Acumulador o batería .....                         | 94  |
| 9.7 Inversor-cargador.....                             | 96  |
| 9.8 Conducciones eléctricas .....                      | 97  |
| 9.8.1 Conexión series de módulos – repartidor .....    | 98  |
| 9.8.2 Conexión repartidor - regulador .....            | 103 |
| 9.8.3 Conexión regulador – batería.....                | 107 |
| 9.8.4 Conexión batería – inversor .....                | 110 |
| 9.8.5 Conexión inversor-carga .....                    | 113 |
| 9.8.6 Pérdidas totales.....                            | 118 |
| 9.8.7 Esquema final.....                               | 118 |
| 9.9 Presupuesto.....                                   | 120 |
| 10 Legalización .....                                  | 120 |
| 11 Análisis económico.....                             | 123 |
| 12 Enlaces .....                                       | 124 |
| 12.1 Hojas de cálculo .....                            | 124 |
| 12.2 Impresos oficiales.....                           | 125 |
| Bibliografía .....                                     | 125 |

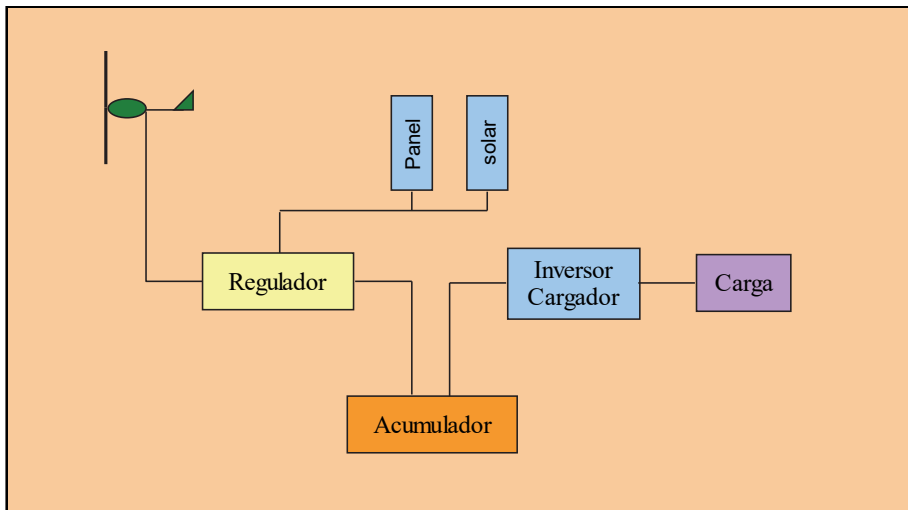


# 1. Principio de funcionamiento

En los sistemas de generación de energía eléctrica no conectados a red o aislados, es necesario solucionar el almacenamiento de la energía para poder garantizar un mínimo suministro en los periodos de ausencia de recurso energético.

En estos casos sin conexión a red se desaprovecharía mucha energía si no se almacenara la sobrante para ser usada durante las horas sin recurso. Normalmente se tiene la carga en paralelo con una batería que acumula en cada instante la energía sobrante, de forma que en periodos de ausencia o falta de recurso energético, los consumidores pueden tener suficiente energía como para satisfacer sus necesidades.

El acumulador que se suele emplear es del tipo electroquímico, la batería, siendo el esquema de funcionamiento de la instalación el siguiente:



**Figura 1.** Esquema instalación eólica aislada. Fuente: elaboración propia

Estas instalaciones son interesantes para consumos aislados donde aún no ha llegado la red eléctrica.



**Figura 2.** Instalaciones eólicas aisladas. Fuente: Aven

## 2. El acumulador

Existen varias tecnologías de acumuladores, de entre la cuales, en aplicaciones energéticas destacan la de plomo-ácido y la de ion-Litio.

Por otra parte, el acumulador se diseña en función del uso a que se destina, definido por las características del ciclo de carga-descarga a que vaya a ser sometido.

Las diferentes clases de acumuladores pueden agruparse en:

- acumuladores de arranque
- acumuladores de tracción
- acumuladores estacionarios
- acumuladores especiales

### 2.1. Acumulador de arranque

Son los más extendidos y conocidos por su aplicación en el arranque de motores de combustión interna en vehículos. Se caracterizan porque tienen que suministrar una elevada corriente durante un intervalo de tiempo corto y en condiciones desfavorables de temperatura.

El ensayo de corriente de arranque en frío y capacidad residual, es la prueba más ampliamente utilizada. Por ejemplo, según la norma SAE J 537, la descarga es de 610 A durante 3 segundos a  $-18^{\circ}\text{C}$ , con tensión final superior a 7,2 V, seguido de la descarga a 25 A hasta 10,5 V (tensión mínima para el arranque del vehículo), durante un tiempo superior a 138 minutos.

El diseño del acumulador se centra en obtener grandes corrientes de arranque, por lo que la resistencia interna del acumulador debe ser lo más pequeña posible, para lo cual se utilizan placas muy delgadas. Actualmente se tiende a las aleaciones de Pb-Ca para las placas, ya que tienen menor gaseo (para una misma tensión) y resistencia interna. El acumulador de Pb-Ca tiene gran aceptación por la eliminación casi completa en la reposición del agua del electrolito, por lo que se denomina de “libre mantenimiento”. La capacidad está definida a 20 horas por ser de tracción, ya que las pruebas que se le exigen no tienen nada que ver con la definición de la capacidad. La densidad del electrolito es elevada ( $1,25 \text{ gr/cm}^3$ ) ya que se desea obtener gran capacidad en un volumen pequeño.

El proceso de fabricación de este tipo de baterías, está totalmente automatizado, ya que el volumen de producción y el precio del mercado así lo exigen.

Por la normalización de tensión en los vehículos, este tipo de baterías se encuentra en módulos compactos, que contienen seis células o vasos, para suministrar la tensión normalizada de 12 V. Los módulos de 6 voltios (3 vasos) son casi exclusivos para motocicletas y los módulos compactos de 24 V (12 vasos) sólo se presenta en algunos modelos. La máxima capacidad en este tipo de baterías suele estar alrededor de 400 Ah.



**Figura 3.** Acumulador de arranque

## **2.2. Acumulador de tracción**

Diseñado para tracción en vehículos con motor eléctrico, las aplicaciones más extendidas son las carretillas de transporte o elevadoras, pequeños vehículos eléctricos, trolebuses (para salvar trayectos sin trole), vehículos especiales eléctricos, etc. En casi todas las aplicaciones se les someten a fuertes descargas a intervalos de cortos tiempo, durante un periodo que suele ser de 8 horas (una jornada laboral). Después de este periodo deben ser recargadas rápidamente para la próxima jornada. Por este motivo, la capacidad de estos acumuladores se expresa para descargas de 5 o 10 h, que suele ser el tiempo real de descarga durante la jornada de trabajo.

En algunas aplicaciones, debido a las elevadas corrientes de descarga, los vasos deben ser refrigerados, por lo que el diseño de la batería es más delicado. Durante el periodo de trabajo deben soportar profundas descargas, del 50% al 80%, y la aceptación de carga debe ser buena para permitir la recarga en poco tiempo.

Este tipo de baterías, por su elevado volumen, van sobre cofres normalizados, permitiendo acceder a los vasos para su sustitución en caso de avería. El peso de las baterías ha



de ser el menor posible. El cargador específico para este tipo de baterías es muy completo (carga a dos regímenes de corriente, con control de la temperatura del electrolito y el tiempo de sobrecarga), con el fin de conseguir el óptimo de vida de las baterías.

La densidad del electrolito está alrededor de  $1,25 \text{ gr/cm}^3$ . Las placas más utilizadas son la de tipo tubular.

Su construcción está semiautomatizada debido sobre todo a la construcción de la placa positiva. La capacidad máxima de este tipo de baterías está alrededor de 1.200 Ah.

La prueba más aceptada consiste en realizar ciclos de descarga hasta el 80% de la capacidad del acumulador o a hasta la tensión final de descarga fija (1,7 V), con la velocidad de descarga a que va a ser especificado el acumulador; a continuación, se recarga hasta el 100% y el número de ciclos ha de ser superior a 1.500, dentro de la vida del acumulador.



**Figura 4.** Acumulador de tracción

### **2.3. Acumulador estacionario**

Su aplicación es la de almacenar energía eléctrica sin desplazamiento de la batería. Las aplicaciones son muy variadas, siendo inicialmente la más extendida la de funcionamiento en *stand by* o espera, para suministrar energía eléctrica en caso de fallo de la tensión de red.

Este es el tipo de acumulador idóneo para aplicaciones de suministro eléctrico a instalaciones aisladas de la red (por ejemplo, viviendas e instalaciones rurales) o bien para aplicaciones de alimentación ininterrumpida, en sus vertientes de seguridad, como alumbrado de hospitales, alimentación eléctrica de ordenadores y otros dispositivos que necesitan evitar los fallos o microcortes en el suministro de energía eléctrica.

La capacidad para este tipo de acumuladores se especifica para 100 horas (120 horas es también bastante usual) por parte de la mayoría de fabricantes, construyéndose acumuladores con capacidades hasta 50.000 Ah.

La corriente de descarga suele ser en la mayoría de las aplicaciones de tipo moderado o pequeño (C100, C120), sobre todo cuando se desea grandes autonomías. La carga es lenta (C120), manteniéndose en estado de flotación (la tensión se mantiene alrededor de 2,2 V por módulo) una vez alcanzada la plena carga.

En aplicaciones con un número elevado de elementos en serie, el regulador-cargador se diseña cuidadosamente (controla la profundidad de descarga y la tensión de flotación, elige el régimen de carga óptimo o intensidad de carga y realiza de forma programada ciclos de igualación) con objeto de obtener una larga vida del acumulador.

Las placas positivas son de tipo tubular y las negativas empastadas; para altas velocidades de descarga, las positivas son Planté y las negativas empastadas con bolsa de expansión.

La construcción de este tipo de acumuladores es idéntica, salvo el recipiente, a los de tracción.

Los acumuladores estacionarios utilizados en aplicaciones de alimentación eléctrica son del tipo C50, C100 y C120, con diferentes valores de la capacidad.



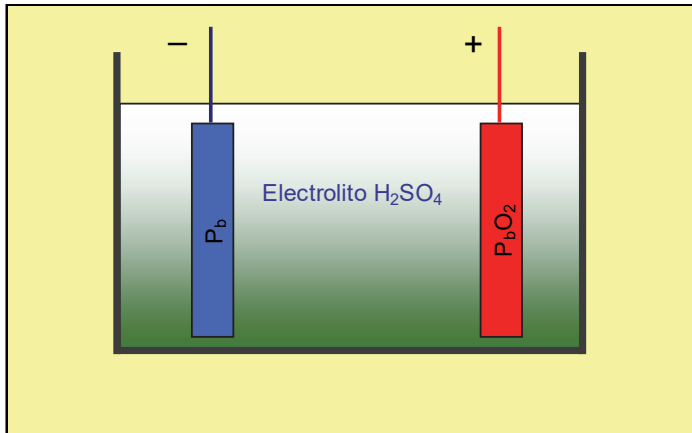
**Figura 5.** Acumulador estacionario

### **3. El acumulador de plomo-ácido**

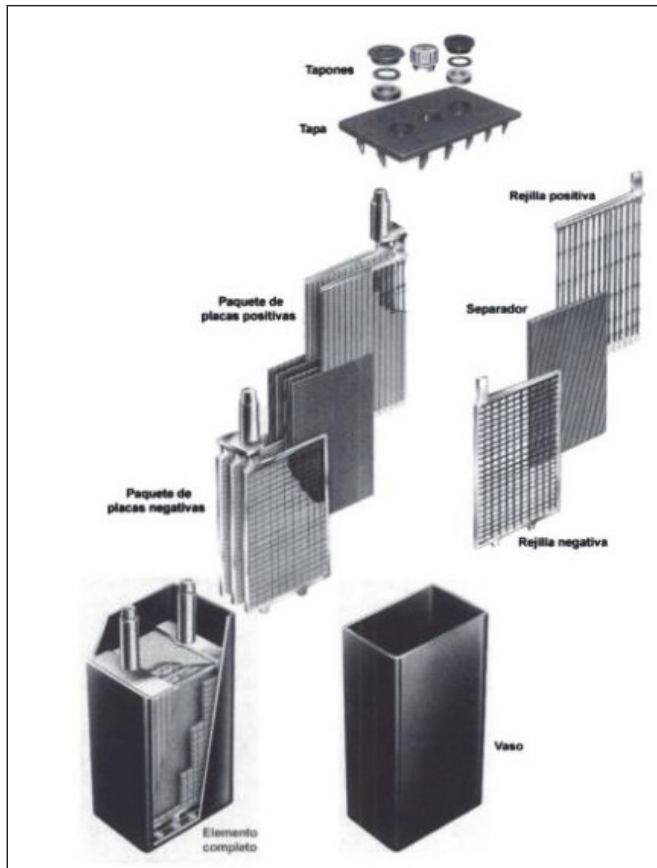
De los diferentes sistemas de almacenamiento de energía, el que se ha empleado de forma tradicional en las instalaciones aisladas de producción de energía eléctrica es el acumulador de plomo-ácido.

#### **3.1. Elementos del acumulador**

Un elemento o célula del acumulador de plomo-ácido, está compuesto por tres elementos fundamentales, la placa positiva, la placa negativa y el electrolito.



**Figura 6.** Elementos fundamentales de una batería de plomo-ácido. Fuente: elaboración propia



**Figura 7.** Componentes de una batería de plomo-ácido. Fuente: curso energía eólica UPV

**Para seguir leyendo, inicie el  
proceso de compra, click aquí**