



CAPITULO 6

BATERIAS SOLARES

Introducción

Este capítulo está dividido en tres secciones. La primera introduce los parámetros eléctricos típicos de dos baterías: la usada en un sistema solar y la usada en los automotores. El significado de estos parámetros es analizado en detalle. Basados en valores típicos para cada uno de ellos, la segunda sección establece las diferencias entre los dos diseños. La información en esta sección incorpora, asimismo, la descripción de dos baterías, una de cada tipo, para familiarizar al lector con los nuevos diseños en acumuladores de Pb-ácido.

En la última sección introduzco las baterías de Pb-ácido herméticas y las de nickel-cadmio (Ni-Cd). Aunque la batería de Pb-ácido con electrolito líquido es el diseño menos costoso, considero que el lector debe conocer otros tipos de baterías, así como sus características principales.

Batería solar: Parámetros eléctricos

Cuatro parámetros definen una batería solar:

- El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un determinado número de horas de descarga.
- Su capacidad para almacenar energía.
- La profundidad de descarga que puede soportar, sin dañarse, en forma repetitiva.
- La vida útil de la unidad, vale decir, el máximo número de ciclos de carga-descarga (u otro parámetro equivalente).

Corriente máxima

La industria ha estandarizado la prueba que determina el valor de la máxima corriente de descarga. Esto permite comparar distintos modelos de baterías.

El valor de la **corriente máxima** es aquel que permite una descarga *continua* de **20 horas** de duración, al cabo de la cual la energía en reserva representa el **20%** de la máxima con la que comenzó.

Los dos parámetros usados: *corriente* y *tiempo*, determinan que el valor derivado de la prueba esté dado en **amper.horas (Ah)**. Este valor representa la capacidad de la batería y de él se deriva el valor de la corriente máxima, para un dado régimen de descarga.

Ejemplo

Si la capacidad de una batería solar es de 200 Ah, la máxima corriente que el acumulador puede sostener durante la descarga es de 10A (200/20).

Valores fraccionarios

Esta forma de dar el valor de la corriente parece arbitraria, pero no lo es si recordamos que la máxima corriente de descarga, por definición, requiere un número específico de horas.

Si la batería del ejemplo se descarga con un régimen de C/40, la corriente de descarga es de 5A. Todo valor fraccionario para el cual el denominador es *mayor que veinte* (20), debe interpretarse como una descarga (o carga) que demanda *menos* corriente que el valor máximo.

Errores de interpretación

El lector puede interpretar que la corriente máxima de la batería, para *menores tiempos de descarga* puede, en efecto, ser mayor que la máxima medida para una descarga de 20 horas. Esta contradicción no existe, ya que corrientes de descarga en exceso del máximo determinado por la prueba hacen **incrementar** la resistencia interna en forma substantial, disminuyendo severamente el voltaje de salida. Cuando este valor disminuye, la capacidad de sostener una corriente constante sobre la carga desaparece.

Corrientes *en exceso de C/20*, si no son debidas a transitorios en la carga de *corta duración*, generan una disipación de calor ($I^2 \times r_i$) que daña a la batería en forma permanente. En particular, la batería de nuestro ejemplo **no puede** entregar **200A, durante una hora, en forma continua**, ya que el proceso químico no puede ser acelerado por sobre un máximo.

Observación

En este momento, muchos de los lectores se preguntarán si un banco de acumulación que use las baterías de nuestro ejemplo puede proporcionar corrientes superiores a C/20. La respuesta es afirmativa, ya que pueden conectarse, en paralelo, varias de ellas. Cada una contribuirá 10 A. Otra solución es elegir una batería con mayor número de Ah.

Notas: *La especificación del valor en Ah se extiende a las pequeñas baterías recargables. Lógicamente, en estos casos, los valores se reducen a mAh y el tiempo de descarga se reduce substancialmente. Recuerde que el valor dado en mAh para estas baterías sólo tiene un valor práctico cuando se conoce el tiempo de descarga con el cual fué derivado.*

Capacidad de acumulación

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Ah, este producto se mide en **watthoras (Wh)** o KWh, dependiendo de su valor. Por lo tanto:

$$\text{Wh} = \text{Voltaje}_{\text{nominal}} \times \text{Ah}$$

Si la batería solar de nuestro ejemplo tiene un voltaje nominal de 6V, la cantidad de energía que puede ser acumulada es de 1.200Wh (1,2KWh).

Profundidad de descarga

La Profundidad de Descarga (**PdD**) representa la cantidad de energía, dada en forma porcentual, que se extrae de una batería. Si la batería del ejemplo anterior entrega 600 Wh a la carga, la **PdD** es del **50%**.

Nota: *Cuando se efectúa la prueba para determinar el valor en Ah de una batería solar la PdD alcanza el 80%.*

Vida útil Hemos visto que el proceso químico de una batería recargable es reversible. Sin embargo, por experiencia propia, sabemos que los acumuladores tienen una vida finita (**vida útil**). Con cada descarga las placas pierden algo del material activo, el que se deposita en el fondo de la caja. Cuando la superficie activa de las celdas se reduce, la vida útil de la batería disminuye. El número de ciclos que el acumulador puede entregar durante su vida útil depende del porcentaje de descarga y del modelo elegido. Si la PdD es elevada, el número de ciclos se reduce.

Nota: *En la práctica, la vida útil de una batería solar suele verse acortada debido a un uso indebido (sulfatación prematura).*

Batería automotriz: Parámetros eléctricos Cuatro parámetros definen a este tipo de batería. Usaré las abreviaturas en inglés ya que la literatura técnica las usa profusamente.

- Amperes de arranque en frío, **CCA** en inglés (*Cold Cranking Amps*).
- Amperes de arranque, **CA** en inglés (*Cranking Amps*).
- Nivel de reserva, **RC** en inglés (*Reserve Capacity*)
- Amperes horas (20hrs de descarga).

CCA Amperes de arranque en frío. Este valor corresponde al máximo número de amperes que la batería puede entregar, con una temperatura ambiente de 0°F (-17,77°C), **durante 30 segundos**, sin bajar el voltaje por celda por debajo de 1,2V (7,2 V de salida para una batería de 12V).

CA Amperes de arranque. Este valor corresponde al máximo número de amperes que la batería puede entregar, con una temperatura ambiente de 32°F (0°C), **durante 30 segundos**, sin bajar el voltaje por celda por debajo de 1,2V.

RC Nivel de reserva

El **nivel de reserva** representa el tiempo, en **minutos**, que la batería puede entregar una corriente de 25A con una temperatura ambiente de 80°F (26°C).

Ah (20hr) Este parámetro, pocas veces mencionado, tiene el mismo significado que para una batería solar.

Análisis Las especificaciones dadas para una batería para automotor apuntan a un solo objetivo lógico: asegurar el arranque del vehículo cuando la temperatura ambiente es baja, es decir, cuando la actividad química disminuye. Los dos primeros parámetros (CC y CA) sólo difieren en el mínimo valor para la temperatura ambiente.

El nivel de reserva tiene un solo fin: seguridad. Una corriente de 25A no permite el arranque del vehículo, como veremos de inmediato, pero es suficiente como para mantener activas las luces parpadeantes de seguridad por varias horas. Lea en el Apéndice I como un consumo intermitente (pulsos) baja el requerimiento energético.

Diferentes requerimientos

Diferentes requerimientos Las baterías de un sistema FV doméstico para uso nocturno deben entregar una corriente cercana o igual a su máximo, **durante varias horas, sin poder ser recargadas.**

Diferentes requerimientos (Cont.)

La batería en un automotor debe entregar, en **menos de 30 segundos**, una corriente transitoria cuyo valor pico alcanza 1.000 A (por unos 3 segundos), pero tiene asegurada **una recarga inmediata**, que continúa mientras el motor funcione.

Vemos entonces que el régimen de las cargas son completamente distintos, y por lo tanto, los parámetros eléctricos que son importantes en una batería solar, como el número de Ahr y la PdD, no tienen importancia en una batería automotriz.

La calidad de una batería solar está determinada por la **capacidad de acumulación** (Ah x V) y **entrega** (PdD) de energía durante largos períodos de actividad.

La calidad de una batería automotriz está relacionada con los valores de **corriente** que puede entregar **durante el arranque, a temperaturas bajas** (CCA y CA).

Baterías solares de 250 Ah son frecuentemente usadas en sistemas FVs de bajo consumo para uso doméstico, mientras que la batería automotriz de mejor calidad sólo alcanza los 60 Ah.

Construcción interna

Distintos requerimientos se traducen en distintas técnicas de construcción para las placas que forman las celdas. Las de una batería solar tienen **una mayor cantidad de material activo** por unidad de volumen, para alargar la vida útil de las mismas.

En las baterías para automotor lo que importa es obtener una baja **densidad de corriente** (A/cm²) para minimizar la caída de voltaje por celda cuando circula la corriente de arranque. Por ello usan placas de plomo esponjoso, el que ofrece la mayor superficie de conducción para un dado volumen de caja.

Esta diferencia de diseño hace que una batería solar de 6V (**3 celdas**), con volumen muy similar a la de 12 V para un automotor (**6 celdas**), pese más de **28 Kgs (62 lbs)**. El incremento del material activo explica, asimismo, el mayor costo asociado con las baterías solares.

Conclusiones

Es evidente que una batería solar y otra de automotor son versiones totalmente diferentes. El análisis llevado a cabo refuerza el concepto dado en el capítulo anterior, donde se indicó que cada tipo de batería satisface las necesidades de una carga específica. Si Ud usa para el banco de reserva baterías de automotores, su duración será extremadamente corta, viéndose obligado a cambiarlas frecuentemente, y comprometiendo el grado de confiabilidad del sistema.

Nuevas baterías

Es interesante observar, después de más de 140 años de existencia, cómo siguen evolucionando las baterías de Pb-ácido.

Un nuevo diseño para baterías **de auto** es el ofrecido por la compañía OPTIMA® Batteries (Figura 6.1). En estas baterías los electrodos se reducen a hojas metálicas, las que son enrolladas, formando un cilindro. El separador, de muy poco espesor, tiene depresiones, donde se coloca el electrolito, el que tiene una estructura pastosa. Los cilindros así formados constituyen las celdas en esta nueva batería.

Nuevas baterías (cont.)

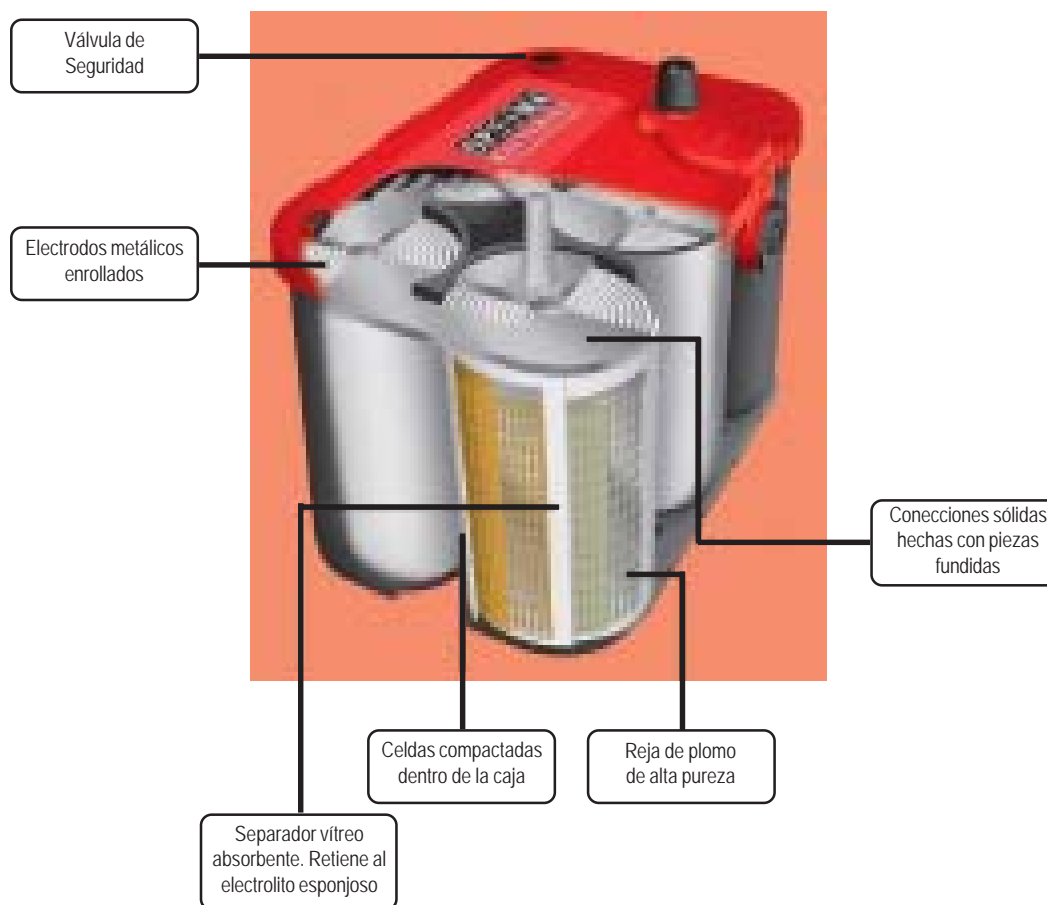


Figura 6.1- Batería automotriz OPTIMA®

El diseño del separador y el alto grado de compactación entre electrodos, ayudan a crear una estructura mecánica monolítica, la que se ve reforzada por el diseño de la caja, la que sigue las curvaturas de los cilindros internos. El uso de un electrolito pastoso, un empaquetado ceñido y una caja hermética, la convierte en el diseño ideal para vehículos sometidos a continuo ajetreo, como los tractores agrícolas, autos, camiones, embarcaciones marinas o vehículos militares.

Desde el punto de vista eléctrico estas baterías ofrecen valores elevados para los cuatro parámetros que he descripto anteriormente. El reducido espesor del separador baja drásticamente la resistencia interna de la batería, permitiendo corrientes de arranque elevadas. El costo de estas batería es mayor que el de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido de muy buena calidad (30 al 50% mayor) .

Nuevos modelos solares

La compañía **Troyan™ Battery Co** ha fabricado baterías de Pb-ácido con electrolito líquido por muchos años, pero en el presente ofrece tres versiones:

- Pb-ácido con electrolito húmedo.
- Pb-ácido con caja hermética.
- Batería tipo AGM.

Nuevos
modelos
solares

Como los dos últimos tipos son de mayor precio, pasaré a describir la del primer tipo. Trojan™ introdujo cambios substanciales en el diseño de las placas, los separadores y el electrolito. Los nuevos separadores, patentados con el nombre de *Maxguard*™, combinados con un nuevo electrolito pastoso (*Alpha Plus*™) que se deposita en el nuevo diseño de la placa, contribuyen, según el fabricante, a reducir las pérdidas de material activo (mayor vida útil), a una menor estratificación del electrolito y a una sensible disminución de la resistencia interna del acumulador.

Las cajas de estas baterías no son herméticas y tienen tapones de ventilación (Figura 6.2). La caja incorpora el moldeado de costillas de refuerzos en su superficie externa, incrementando su resistencia mecánica (modelo Polyon™). Dependiendo del peso de la unidad, el moldeado de ésta contempla la incorporación de manijas o agarres especiales, los que facilitan su manejo cuando la unidad deba ser ubicada en el banco de acumulación.

Nueva
unidad:
LEU

La compañía Troyan está propiciando el uso de un nuevo parámetro eléctrico para definir la vida útil de un modelo. Introducen para este fin lo que ellos llaman **unidad de energía de vida, LEU** en inglés (**Life Energy Unit**). El número de LEUs dado para un determinada unidad, representa el número de **KWh** que ésta será capaz de entregar *durante su vida útil*.

Esto representa una desviación respecto a la forma tradicional de especificar las baterías de ciclo profundo, donde la vida útil es dada por **dos parámetros** interdependientes: el máximo número de ciclos y el porcentaje de la PdD.

Durante años este fabricante dió la especificación de la vida útil de sus baterías solares usando la combinación de ciclos y PdD, pero ahora auspician la nueva unidad, reduciendo los dos parámetros a uno. El número de KWh (o LEUs) es equivalente a tener un monto inicial de energía. Cuando la PdD aumenta (mayor uso), su reserva se reduce.

Esta especificación asume que la batería será recargada diariamente, conservando el balance energético mencionado repetidas veces.

Fabricantes
y
modelos

Son muchos los fabricantes que ofrecen baterías de ciclo profundo con electrolito de Pb-ácido (así como los otros ya mencionados). Citaré, entre ellos, US Battery™, Trojan™ y Concorde™. La tabla dada a continuación muestra el amplio rango en Ah que ofrecen los modelos en venta. La información corresponde a baterías de 6 y 12 V, pero debe tenerse en cuenta que algunas de las compañías ofrecen baterías con mayores voltajes de salida.

COMPañIA	Ah (12 V)	Ah (6V)
US Battery	250 - 414	105 - 415
Concorde	104 - 258	138 - 224
Trojan	85 - 450	210 - 420

Como ilustración, y para dar para dar idea de la variación en tamaños, la Figura 6.2 ilustra dos modelos de Trojan™: el T-105 y el L16-H. La tabla a continuación resume las características eléctricas y físicas (dimensiones y peso) de estos dos modelos.



Figura 6.2- Trojan T-105 y L16-H

Modelo	Voltaje V	Ahr	LEU KWh	Ancho cm	Espesor cm	Alto cm	Peso Kgs
T-105	6	225	438	26,4	18,1	27,6	28
L16-H	6	420	1.148	29,5	17,8	42,5	55

Figura 6.2- Trojan T-105 y L16-H

Baterías gelatinosas

Si los gases generados en la batería de Pb-ácido pueden ser parcialmente o totalmente recombinados, la caja de la batería puede ser hermética. Esta solución es la usada en las baterías con **electrolito gelatinoso** (*gel cell batteries*, en inglés). El grado de recombinación depende de la actividad química en el electrolito (valor de la corriente).

Para situaciones de emergencia, como un cortocircuito externo, estas baterías poseen una válvula de seguridad, y de allí que también se las conozcan por la abreviatura inglesa **VRLA** (**V**alve **R**egulated **L**ead **A**cid) o Pb-ácido regulada por válvula.

Baterías tipo AGM

Los vendedores de baterías herméticas ofrecen, hoy día, un sólo tipo de construcción, el que se conoce por las sigla inglesa **AGM** (**A**ggregated **G**lass **M**at). La mejor traducción sería **conglomerado** (*aggregate*) con alfombrilla (*mat*) “vitrosa” y electrolito. La alfombrilla es el separador de placas, el que está hecho de una estructura *fibrosa fina* de silicio y boro, la que tiene una apariencia vitrosa (*fiberglass*). El electrolito, que ha sido reducido a una densa estructura gelatinosa, pasa a formar parte del conglomerado.

Baterías tipo AGM (Cont.) Las baterías de este tipo usan un electrolito de ácido y agua, pero la solución tiene un grado de saturación menor que la del electrolito líquido.

Ventajas

Estas baterías:

- ☑ Toleran más abuso que las primeras baterías del tipo hermética, ya que el grado de recombinación de los gases de carga es algo superior al 99 %.
- ☑ Tienen una auto-descarga que no excede el 3% por mes (25°C).
- ☑ Pueden ser recargadas al 100%, aún si han perdido completamente su carga.
- ☑ Nunca desparan el electrolito (aún si se rompiere la caja), convirtiéndose en la solución ideal para instalaciones en donde el movimiento constituye un problema (boyas, embarcaciones o aviones). Resultan muy seguras cuando son instaladas dentro del hogar.
- ☑ No dejan escapar grandes cantidades de gases al ser cargadas (menos del 4% del total), siendo ideales en aviones o en instalaciones fotovoltaicas donde el banco de baterías debe ubicarse en un lugar habitable.
- ☑ Como no requieren mantenimiento (agregado de agua), se las usa en instalaciones donde la supervisión es infrecuente o nula, como la iluminación de carteles de propaganda en lugares remotos o repetidores telefónicos en la montaña. Esta característica puede ser útil cuando el usuario de un sistema FV no quiere o puede mantener el banco de batería. Muchos sistemas FVs integrales (sistemas listos para ser usados) incluyen este tipo de batería.
- ☑ Resisten mejor las bajas temperaturas ambientes.
- ☑ Abatiran el costo de envío, ya que son clasificadas como substancia no peligrosa.
- ☑ No necesitan ecualización.

Desventajas

- ⊗ El costo es dos a tres veces superior al de una batería Pb-ácido con electrolito líquido.
- ⊗ La corriente y el voltaje de carga son más bajos que para la de electrolito líquido (mayor tiempo de carga).

Baterías de Ni-Cd No podemos concluir este capítulo sin mencionar las baterías de **Nickel Cadmio (Ni-Cd)** de ciclo profundo. Debido a su alto **costo inicial** (6 a 8 veces el de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido), este diseño no ha podido suplantarlo a ese tipo, a pesar que el **costo operacional** (costo a largo plazo) es mucho menor (5 veces) al de una batería del tipo Pb-ácido de igual capacidad.

Las baterías solares de Ni-Cd se fabrican con un procedimiento **completamente diferente** del usado para las versiones pequeñas (hoy descontinuadas), evitando el efecto “memoria” de las pequeñas y medianas baterías (herramientas portátiles) de Ni-Cd.

Las baterías solares de Ni-Cd usan un diseño llamado “placas con bolsillos” (*pocket plate*, en inglés). Las placas son de **acero inoxidable**, con depresiones (bolsillos) donde se coloca el material activo. El electrolito de estas baterías es una **solución de agua e hidróxido de potasio**, el que requiere una fina capa de aceite en la superficie superior para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente.

Baterías de Ni-Cd (cont.) **Ventajas**

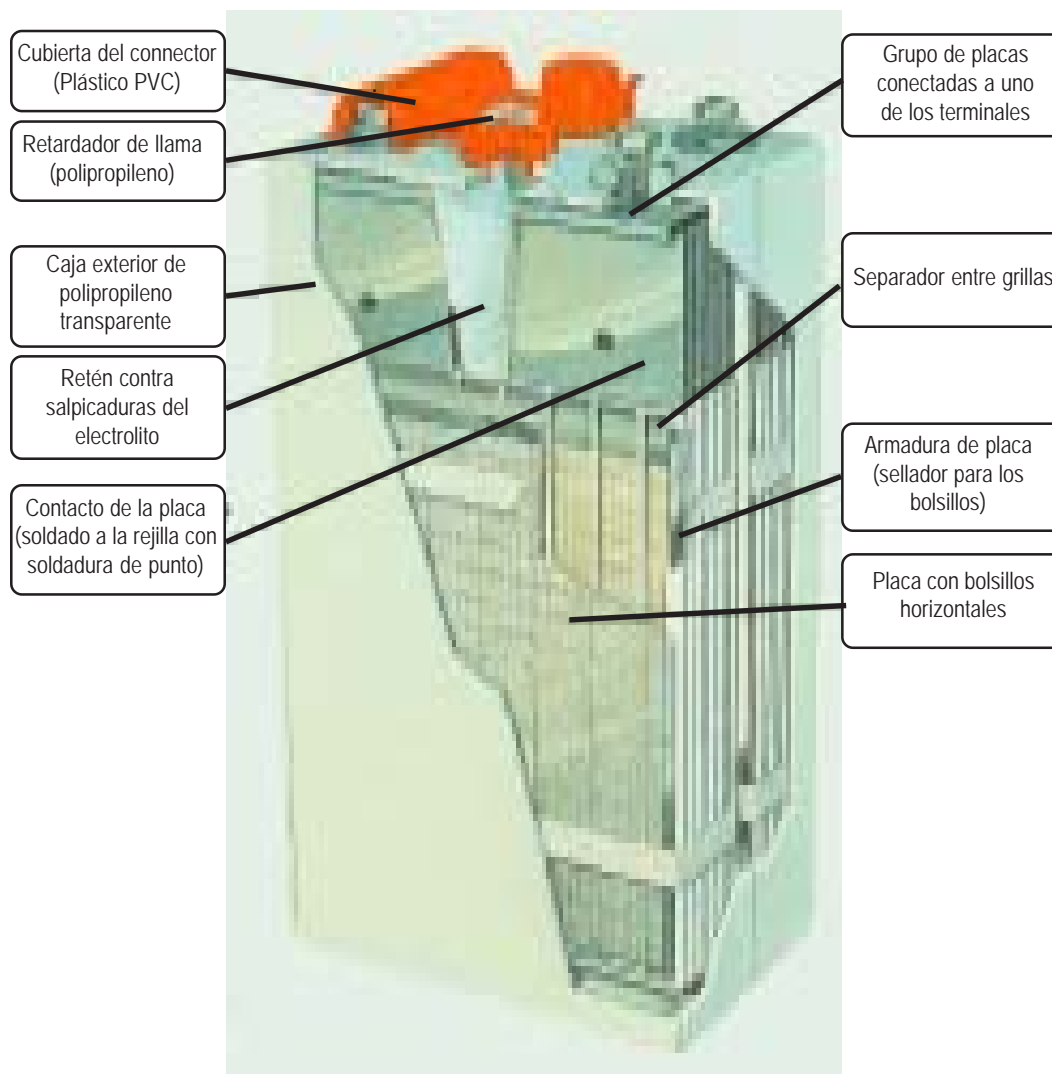
Las baterías de Ni-Cd que usan este método de fabricación:

- ☑ Toleran más abuso que su equivalente de Pb-ácido, ya que soportan, sin dañarse, cargas y descargas excesivas, y pueden trabajar con bajo estado de carga sin deteriorarse.
- ☑ Toleran una mayor PdD (cerca del 100%).
- ☑ Tienen una mayor eficiencia con bajas y altas temperaturas y soportan, sin problemas, una alta combinación de temperatura y humedad ambiente. Esta última característica las convierte en la solución ideal para climas tropicales.
- ☑ No tienen problemas de sulfatación de las placas o congelación del electrolito.
- ☑ La autodescarga, inicialmente elevada, disminuye con el tiempo, permitiendo largos períodos de almacenamiento con una retención considerable de la carga inicial.
- ☑ La vida útil es de más de dos veces la de una batería solar de Pb-ácido de igual capacidad. Uno de los fabricantes de más experiencia con este tipo de baterías (**SAFT-NIFE**) las garantiza **por 20 años**.

Desventajas

- ⊗ La característica de descarga es la mayor desventaja, ya que el voltaje de salida permanece prácticamente constante (extremadamente baja resistencia interna) hasta que, súbitamente, su capacidad de almacenaje se ve agotada. En ese momento el voltaje de salida cae en forma vertiginosa, no permitiendo al usuario tener un “aviso previo”.
- ⊗ La evaluación del **EdC** (estado de carga) requiere medir el voltaje de salida con un voltímetro que tenga la suficiente resolución y precisión para que la lectura contenga dos decimales significativos, ya que la diferencia en voltaje entre una celda cargada o otra descargada es muy pequeña (1,4V cargada; 1,1V descargada).
- ⊗ El electrolito de una batería de Ni-Cd tiene un rol **pasivo**. Sólo actúa como transportador de cargas, y por lo tanto, no hay variación alguna en su densidad entre una celda cargada o descargada. No es posible usar un densímetro para determinar el EdC.
- ⊗ El bajo voltaje por celda obliga a la incorporación de un mayor número de celdas/batería para obtener voltajes cercanos a los 12V.

La Figura 6.3 muestra la construcción de una batería solar de este tipo.

**Baterías de
Ni-Cd:
Construcción****Figura 6.3- Batería de Ni-Cd (SAFT-NIFE)**