

Ingeniería Energética General

SISTEMA_FOTOVOLTAICO_ACTUALIDAD_INTEGRACIÓN

TECNOLOGÍAS, POLÍTICAS, MERCADO, COMPONENTES DEL SISTEMA Y SUS CARÁCTERÍSTICAS PRINCIPALES.

Aplicado a la Mediana y Pequeña Industria, a los Centros Comerciales, a los Edificios

Resumen

Este documento forma parte de un conjunto de materiales dirigidos a brindar información e indicadores actualizados sobre las tecnologías existentes, el avance de la técnica, los componentes y el procedimiento de cálculo de los Sistemas Fotovoltaicos (FV). La utilización de los sistemas FV como sistema alternativo ecológico para sustituir la energía producida de los combustibles fósiles, se encuentran en expansión exponencial. Las cifras de crecimiento anual tanto de los valores invertidos como de nuevas capacidades que entran en funcionamiento, así lo demuestran. De igual forma es uno de los sistemas con mayor dinámica en su desarrollo. Casi a diario encontramos noticias de que se alcanzan eficiencias mas altas, costos mas bajos, todo en el camino de hacerlos competitivos. Para hacer rentables las inversiones fotovoltaicas, la mayoría de los países que han tomado la decisión de ir a la independencia energética y reducir la utilización de la energía fósil contaminante, aplican diferentes fórmulas de estimulación a través de incentivos, compensaciones, tarifas que mejoran el rendimiento de los fondos invertidos y con ello impulsan y aceleran la introducción de los sistemas de captación solar.

El documento describe en orden y por países, las políticas de ayuda, incentivos, precios; niveles de exportación en USA y eficiencias promedios que se alcanzan en diferentes tipos de celdas; la evolución de los precios actuales y pronosticados a corto plazo, el desarrollo que vienen teniendo las diferentes tecnologías de captación solar, mercados, celdas de capas finas y otras; el diseño de los módulos (paneles), su estructura, materiales que lo componen, parámetros que lo caracterizan; distintos tipos de reguladores de voltaje, de inversores (inverter) y de las baterías, así como los parámetros técnicos de los principales componentes.

Constituye una información principal para el Ingeniero Energético que necesita familiarizarse con estos sistemas y su aplicación práctica. Este documento se complementa con otros tres Instructivos: Sistema Solar Fotovoltaico vs Sistema Solar Térmico que ya está publicado en nuestra Web en la Sección Instructivos Disponibles; Sistema Solar Fotovoltaico_Cálculos, próximamente se incluirá y finalmente Componentes de un Sistema Fotovoltaico, publicado también en la sección Herramientas con Libre Acceso. Nuestra URL es <http://www.energianow.net>

Las informaciones y estadísticas básicas empleadas en el documento, son obtenidas de reconocidas fuentes internacionales, resumiéndolas, ordenándolas y procesándolas para presentarlas. Aspiramos a que esta sea una herramienta de utilidad y sea un aporte a los esfuerzos que globalmente se hacen para facilitar la introducción de los sistemas energéticos ecológicos que utilizan fuentes de energías renovables.

el Autor:

René Ruano es director y fundador de Ingeniería Energética General, tiene más de 30 años de experiencia en la realización de proyectos de Ahorro Energético y de Energías Renovables.

René Ruano is Manager and founder of General Energetic Engineering with more than 30 years making Save Energy and Renewable Energy Project.

Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integración

INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 090219

www.energianow.net

Cáp. y/o Epígrafes	Tema	Página
--	Resumen	2
--	Índice	3
1	Introducción.	4
2	Políticas, ayudas, incentivos, precios	5
2.1	Escenario positivo en USA	5
2.2	Incentivos en Francia. 2008	6
2.3	Incentivos en Grecia. 2008	6
2.4	Incentivos en Australia	6
2.5	Incentivos en España	6
3	Exportación USA	7
4	Evolución de los precios por módulos fotovoltaicos en los últimos años	9
5	La Celdas. Diferentes tecnologías, eficiencias, costos	9
6	Diseño de Módulos y breves notas de su estructura	12
6.1	Structure	12
6.2	Module Materials	12
6.3	Front Surface Materials	13
6.4	Encapsulant, Rear Surface, Frame	14
6.5	Packing Density	14
6.6	Module Circuit Design	14
6.7	Mismatch Effects	15
7	Regulador de Voltaje	16
7.1	Reguladores autorreguladores	16
7.2	Reguladores tipo paralelo	17
7.3	Reguladores tipo serie	18
7.4	Reguladores PWM	18
7.5	Reguladores DC-DC	19
8	Inverter, Inversores, Convertidores	19
8.1	Forma de Onda de los Inversores	19
9	Baterías	21
9.1	La batería automotriz	22
9.2	La batería de PLOMO-ACIDO	22
9.3	La batería solar	24
9.4	Baterías solares de bajo mantenimiento	26
9.5	Baterías tubulares	27
9.6	Baterías de Niquel-Cadmio (Ni-Cd)	29
10	Referencias	31

Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integración

1. Introducción.

La utilización del Sistema Fotovoltaico (FV) como sistema alternativo ecológico para sustituir la energía producida de los combustibles fósiles, se encuentra en expansión exponencial. Las cifras de crecimiento anual tanto de los valores invertidos como de nuevas capacidades que entran en funcionamiento, así lo demuestran.

Las inversiones abarcan desde simples sistemas residenciales, colocados en cubiertas, paredes y áreas colindantes a las viviendas y edificios, hasta enormes parques fotovoltaicos. Esta expansión creciente ha sido motivada por diversas realidades y herramientas financieras.

- a) La energía eléctrica generada en Plantas Térmicas o Motores de Combustión Interna que emplean combustibles fósiles, es la unidad que más contamina el ambiente puesto que se obtiene en un ciclo térmico donde para producir una unidad de electricidad se requiere mas de 2,5 y hasta 4 unidades de energía. Si el origen es fósil, entonces estamos multiplicando las emisiones de CO₂ a la atmósfera. De ahí que sustituir electricidad fósil es un objetivo priorizado mundialmente.
- b) Es evidente la necesidad de sustituir las energías sucias, principalmente la electricidad fósil por fuentes de energías renovables, limpias. La fotovoltaica es una tecnología que se basa en la captación de la radiación solar, para generar electricidad y no produce emisiones que contaminan la atmósfera.
- c) Este tipo de sistema puede ser instalado en pequeña, mediana y gran escala. Por lo que no depende solo de los grandes aportes de capital. Un ciudadano que esté interesado en generar para su hogar su propia electricidad, partiendo de una fuente renovable y con ello contribuir a limpiar nuestro Planeta, tiene a la mano la posibilidad de instalar un Sistema Fotovoltaico. De igual forma puede invertir en una parcela de un parque fotovoltaico, adquirir un número de paneles y obtener una renta mensual por la venta de los kWh limpios que se genera en ellos.
- d) Es un sistema en constante desarrollo técnico. Se realizan investigaciones en la mayoría de los países, se introducen nuevos materiales, se implantan nuevos procesos y todo con el objetivo de ir abaratando el precio para hacerlos competitivos y aumentar su rentabilidad.
- e) Aunque en la actualidad no es rentable la sustitución de la energía eléctrica sucia (muy barata por kWh) por la energía limpia renovable (es caro el valor inicial de inversión) la expansión de estos sistema se estimula al forzar el escenario económico financiero con la introducción de incentivos y tarifas donde se subsidia el kWh limpio generado. Estos Incentivos o tarifas, principalmente son establecidos para favorecer la introducción de Sistemas Fotovoltaicos. Producto de lo anterior muchos países a nivel mundial (europeos, asiáticos, americanos, Australia y otros) han establecido incentivos o tarifas de apoyo, que ofrecen entre 0,30 y hasta 0,52 EU/kWh generado en esto tipos de sistemas.

Por lo anterior es útil en el escenario energético en el que nos encontramos, estar actualizado de las tecnologías fotovoltaicas presentes en el mercado, en que dirección avanza el desarrollo de estos sistemas, sus precios, eficiencias, principales materiales y que podemos esperar de ellos en el corto y mediano plazo. Para cumplir con estos propósitos, revisaremos las informaciones recientes sobre la marcha de los avances tecnológicos, los programas gubernamentales de políticas y ayudas financieras que existen y se desarrollan y finalmente la marcha del mercado actual y futuro inmediato.

La intención es de presentar las informaciones de actualidad de manera condensada, que sirva de herramienta de consulta a los Ingenieros Energéticos que están relacionados con la compra y venta, el montaje, el diseño, el mantenimiento y la explotación de estos sistemas de energía renovable. Es una información principal sobre todo para **SABER COMPRARLOS, SABER VENDERLOS, SABER MONTARLOS y SABER EXPLOTARLOS EFICIENTEMENTE.**

El orden del documento comenzará por las ayudas, incentivos, programas de financiamiento que hoy muchos gobiernos aportan para la introducción de estos sistemas. Revisaremos el nivel de exportación de USA, precios, eficiencias. Trataremos posteriormente el avance que viene teniendo la celda, como elemento captador. Los diferentes tipos, materiales y eficiencias que se vienen reportando, las ventajas y desventajas de cada una.

Seguiremos con la integración de la celda al panel, los posibles puntos de falla y las buenas prácticas para una correcta operación.

Así iremos estudiando los distintos componentes que siguen. Me refiero al Regulador de Voltaje, las Baterías, el Invertir (Inversor de DC a AC) hasta completar el Sistema.

En un próximo documento, concluiremos este paquete de información sobre los sistemas Fotovoltaicos con el procedimiento de cálculo para el diseño y dimensionamiento del mismo, en función de la carga y tipos de carga que se quieren alimentar, del tipo de Panel, del tipo de batería, etc. El documento se redacta con textos en inglés y en español. Los textos en inglés son copia digital del original.

2. Políticas, ayudas, incentivos, precios.

2.1 Escenario positivo en USA.

*Fuente: **Cogeneration & On-Site Power** (January February 2009) Vol. 10 number, page 6 (From the Editor)*

These are tough times for most industries, and it's hard to predict just how the financial crisis is likely to affect the development of cogeneration and decentralized energy in major markets across the world. We have seen some positive movement in recent months on the policy front, in the US, ex-president Bush's clean energy credit package supplanted by president Obama's considerably more ambitious proposals on energy efficiency and clean energy.

*Fuente: **Photonics Spectra** (January 2009) Vol. 43 Issue No.1, Editorial "A greenhouse in the White House"*

Here's cheerful tidbit. Last month when US President -elect Barack Obama named Harvard physicist John Holdren and marine biologist Jane Lubchenco as his top science advisers, science took back its rightful position in the White House.

*Fuente: **Renewable Energy World Magazine**, (January February 2009) Vol. 12 No. 1. from the Editor.*

Here we are, just a short way into 2009, and yet so much seems to have happened

That may deeply influence the development on the renewable energy sector. Put together, it really seems like way may have reached the long-awaited "tipping point". Most visible of course, there's new US President in the White House; President Obama has announced –included in his inaugural address-his intention to support much greater use of renewable energy in order to increase energy independence, counter climate change and create jobs in the new economy. Plans are unfolding as this issue goes to press, but the Obama-Biden "New Energy for America plan" aims to help create five (5) million new jobs by strategically investing US150 E+09 (150 billion US dollar) over the next decade.

2.2 Incentivos en Francia.

Fuente: *Renewable Energy World Magazine. 2008*

a) France re-evaluated its policies and increased tariffs Solar PV, cities; eurocents/kWh = 30.00

b) France, plus bonus, for building-integrated installations Solar PV; eurocents/kWh = 25.00

2.3 Incentivos en Grecia.

Fuente: *Renewable Energy World Magazine. 2008*

Greece's energy law provides. Solar PV.....depending on system size and location. eurocents/kWh = 40.00 min.

2.4 Incentivos en Australia.

Fuente: *Renewable Energy World Magazine. 2008*

South Australia in Solar PV (for 20 years); US cents/kWh = 42.00

2.5 Incentivos en España.

Fuente: *Renewable Energy World Magazine, (18 de December de 2008) Vol. 11 Issue 6*

News Round-up

.....Facing a significant economic downturn, the Spanish government began to feel the pinch and was looking to make **wholesale cuts** to expenditure. Certainly, the government considered it necessary to revise the scheme given that the industry had already more than quadrupled the targets set for 2010.

As the deadline approached the government responded and the new solar PV Royal Decree (Real Decreto) establishes a **0.32 EU/kWh feed-in tariff for all ground-mounted facilities**, although to be included in the programme such systems must be less than 10 MW. For **roof-mounted systems of more than 20 kW the tariff is 0.32 EU/kWh and 0.34 EU/kWh for rooftop facilities of less than 20 kW**. There is a 2 MW maximum size for roof-mounted installations.

Under the terms of the original proposals the government would have paid a flat rate of **0.33 EU/kWh** for roof-mounted panels, while ground-based installations would have received **0.29 EU//kWh.....**

3. Exportación USA.

Table Export Shipments of Photovoltaic Cells and Modules by Type, 2004 - 2007					
(Peak Kilowatts)					
Item/Year	Crystalline Silicon	Thin-Film Silicon	Concentrator Silicon	Other	Total
Cells					
2004	36.492	-	-	-	36.492
2005	20.434	-	-	-	20.434
2006	12.960	838	400	-	14.198
2007	16.592	1.500	3.753	-	21.845
Modules					
2004	52.938	13.341	-	-	66.278
2005	39.992	32.000	25	-	72.017
2006	47.681	68.880	-	-	116.561
2007	66.791	148.477	95	-	215.364
Totals					
2004	89.430	13.341	-	-	102.770
2005	60.426	32.000	25	-	92.451
2006	60.640	69.718	400	-	130.757
2007	83.383	149.977	3.848	-	237.209
- = No data reported.					
Note: Totals may not equal sum of components due to independent rounding.					
Source: Energy Information Administration, Form EIA-63B, "Annual Photovoltaic Module/Cell					

Table Destination of U.S. Photovoltaic Cell and Module Export Shipments by Country, 2006 and 2007 (Peak Kilowatts)

Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integración INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 090219

www.energianow.net

Region/Country	2006	2007	Percent of U.S. Exports 2007
Africa			
Angola	1	5	*
Egypt	307	-	-
Gambia	-	1	*
Kenya	172	17	*
Namibia	-	38	0,02
Nigeria	6	174	0,07
South Africa	385	619	0,26
Tanzania	6	42	0,02
Uganda	-	27	0,01
Total	876	918	0,39
Asia			
Afghanistan	83	147	0,06
Cambodia	-	156	0,07
China	4.403	7.238	3,05
Hong Kong	2.116	5.427	2,29
India	1.946	2.795	1,18
Indonesia	13	-	-
Israel	55	174	0,07
Japan	-	1.032	0,44
Malaysia	3	4	*
North Korea	42	-	-
Oman	-	14	*
Saudi Arabia	1	11	*
Singapore	2.349	698	0,29
South Korea	4.021	3.444	1,45
Taiwan	5	1.111	0,47
Thailand	45	-	-
United Arab Emirates	12	18	*
Total	15.093	22.269	9,39
Europe			
Austria	328	118	0,05
Belgium	1	147	0,06
Bulgaria	-	15	*
Denmark	3	-	-
Finland	6	10	*
France	1.447	10.228	4,31
Germany	80.583	152.654	64,35
Iceland	-	1	*
Ireland	28	-	-
Italy	1.475	10.364	4,37
Luxembourg	324	-	-
Netherlands	138	451	0,19
Norway	256	292	0,12
Portugal	6.605	647	0,27
Slovakia	-	5	*
Spain	15.242	31.384	13,23
Sweden	2.501	1.333	0,56
Switzerland	23	109	0,05
United Kingdom	186	11	*
Total	109.144	207.768	87,59
North & Central America			
Bahamas	1	-	-
Bermuda	1	1	*
British Virgin Islands	-	6	*
Canada	1.536	1.246	0,53
Costa Rica	347	-	-
Dominican Republic	1	33	0,01
El Salvador	1	-	-
Grenada	32	-	-
Guadeloupe	31	-	-
Guatemala	101	3	*
Haiti	24	20	*
Honduras	111	26	0,01
Jamaica	-	43	0,02
Martinique	-	1	*
Mexico	723	116	0,05
Nicaragua	50	30	0,01
Panama	85	4	*
Trinidad and Tobago	8	4	*
Total	3.051	1.533	0,65
Oceania & Australia			
Australia	1.562	2.757	1,16
French Polynesia	93	15	*
New Zealand	70	9	*
Total	1.725	2.781	1,17
South America			
Argentina	43	90	0,04
Bolivia	89	89	0,04
Brazil	79	1.359	0,57
Chile	85	140	0,06
Colombia	226	52	0,02
Ecuador	1	58	0,02
Guyana	60	-	-
Peru	240	141	0,06
Uruguay	45	-	-
Venezuela	1	9	*
Total	869	1.939	0,82
U.S. Total	130.757	237.209	100,00

El documento, ma
La utilización de estos por parte del u

ética General
debe señalar en el destino como

info@energianow.net

* = Less than 0.01 percent.

s = Value is less than 0.5 of the table metric, but value is included in any associated total.

- = No data reported.

Note: Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

4. Evolución de los precios por módulos fotovoltaicos en los últimos años.

Fuente: Photonics Spectra (November 2008) Vol. 42 Issue No.11, Sunny days for Solar page 44.

Photovoltaic Module Price (Factory Gate) 2006 USD/watt = 4.01
 Photovoltaic Module Price (Wholesale) 2006 USD/watt = 4.21
 Photovoltaic NonModule 2006 USD/watt = 3.46
 Photovoltaic System 2006 USD/watt = 7.67

Photovoltaic Module Price (Factory Gate) 2008 USD/watt = 3.60
 Photovoltaic Module Price (Wholesale) 2008 USD/watt = 3.78
 Photovoltaic NonModule 2008 USD/watt = 3.09
 Photovoltaic System 2008 USD/watt = 6.87

Photovoltaic Module Price (Factory Gate) 2010 USD/watt = 3.03
 Photovoltaic Module Price (Wholesale) 2010 USD/watt = 3.19
 Photovoltaic NonModule 2010 USD/watt = 2.67
 Photovoltaic System 2010 USD/watt = 5.86

5. La Celdas. Diferentes tecnologías, eficiencias, costos.

Thin is In. Participación en el mercado en % (por tecnologías)

Fuente: Photonics Spectra (November 2008) Vol. 42 Issue No.11, Sunny days for Solar page 42.

Año	CIS/CIGS	CdTe	GaAs	a-Si	others
2008	6,41	18,18	9,59	64,52	1,3
2010	12,57	30,28	4,85	50,47	1,84
2012	15,86	36,28	2,43	44,01	1,41
2015	22,19	39,23	0,05	35,40	2,23

Se pronostica una reducción de los niveles de las celdas de Silicio amorfo y Arseniuro de Galio. La celda de Silicio Cristalino es la más cara. Las de Silicio Amorfo y Telurio de Cadmio son las más baratas y tiene el mayor potencial en el mercado.

Thicker than Thin. Laser Reactive Deposition, (LRD). New Technology. Bringing down the cost of solar cell.

Fuente: Photonics Spectra (February 2009) Vol. 43 Issue No.2, Thicker than Thin page 38

The technology produce a product called SilFoil, which implies exactly what it is- crystalline silicon deposit directly as a film, about 35 micro meters. SilFoil is thicker than thin film. The advantage is that it uses 75 % less silicon than multicrystalline cells, which makes the SilFoil modules less expensive than traditional ones based on

silicon wafers. The Co. expects module costs to be well below \$1 USD watt-peak when manufacturing is a full scale in 2011.

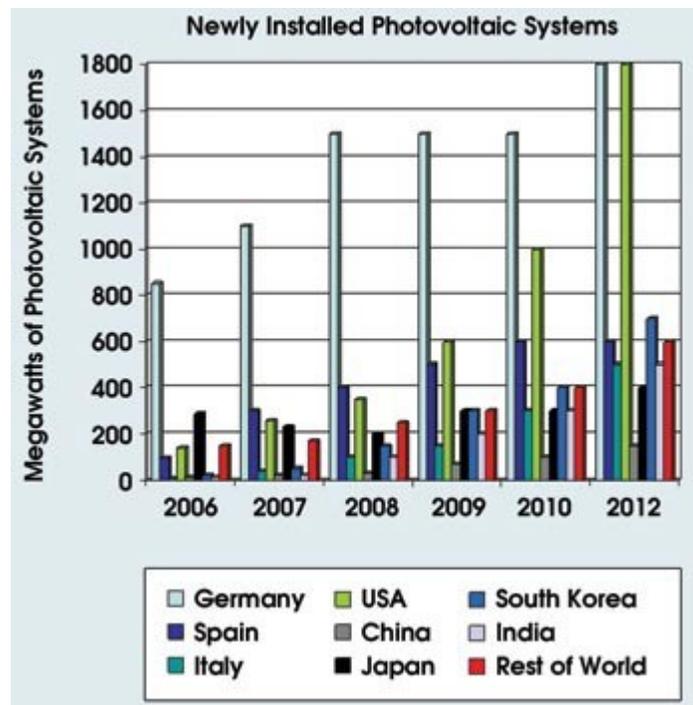
Efficiency. Table Average Energy Conversion Efficiency of Photovoltaic Cells and Modules Shipped in 2007 (Percent of Energy Converted)

Source: *Energy Information Administration, Form EIA-63B, "Annual Photovoltaic Module/Cell Manufacturers Survey."*

Year	Crystalline Silicon			Thin-Film Silicon		Concentrator Silicon
	Single Crystal	Cast	Ribbon	Amorphous Silicon	Other	
2007	17	14	12	8	12	35

Mercado. Crecimiento esperado del mercado fotovoltaico en los principales países, destacándose los europeos. Tomar en cuenta como crece los MW PV en USA, España, Sur Corea entre 2008, pronóstico 2009 y el pronóstico 2010. Alemania, USA y España tienen un crecimiento sorprendente.

Fuente: *Photonics Spectra (jul 2008) Vol. 42 Issue No.7 Solar Up, Silicon Down.*



Thin-film technologies.

Thin-film technologies are experiencing growth as a result of the silicon shortage. This is largely due to the fact that thin-film layers for photovoltaic cells can be conducted on glass, steel or polymer foils, without any — or with only a small percentage of — silicon.

Silicon cell manufacturers are increasingly investing in thin-film technologies in parallel with polysilicon. Materials include amorphous silicon (a-Si), which uses just 1/10 the

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
 La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
 © Derechos Reservados Ingeniería Energética General.

amount of silicon in crystalline silicon (c-Si), and cadmium telluride (CdTe) and copper-indium-gallium-selenium intermetallic compound, Cu(In,Ga)Se₂ (also known as CIS/CIGS), which are silicon-free and abundant.

Thin-film solar cells are less efficient than c-Si (with a convergence efficiency of 6 to 11 percent compared with 15 to 17 percent of c-Si), yet they are less expensive to produce. The production cost per watt is key in the energy industry and, therefore, the market for thin-film solar cells is expected to grow at an annual rate of 70 percent to gain a 20 percent market share by 2010. The cells will be used in high-volume applications, such as solar farms with more than 1-MW power generation, according to wicht.....

Wafer-Based Solar Cell aren't done yet

Fuente: Renewable Energy e-Newsletters (9 January 2009)

Single-crystal (c-Si) cells depend on the same Czochralski growth process used to make wafers for integrated circuits, while multicrystalline (mc-Si) cells are cut from cast silicon ingots. Silicon is the largest contributor to the cost of wafer-based cells, accounting for as much as 50% of the total. (Cell cost, in turn, accounts for about half of the total cost of a photovoltaic system.) When the solar energy boom created a severe shortage of high-purity polysilicon, wafer-based cell manufacturers saw their costs rocket upward.

Higher costs created an opportunity for less expensive cells, based on thin films of silicon and other photoactive semiconductors. Though less efficient than wafer-based cells, thin-film cells derive a significant cost advantage by using much smaller quantities of semiconductor. At this writing, industry analysts at SolarBuzz report that the lowest quoted thin-film module price stands at US\$3.02 per watt-peak, with the lowest c-Si module at \$4.24 per watt-peak.

PV Costs set to plunge.

Fuente: Renewable Energy World Magazine, (January February 2009) Vol. 12 No. 1. page. 21

Spot market price

Moth/Year	solar grade silicon USD/kg,	Polysilicom USD/kg	Contribución USD/watt	Costo Generation USD cents/kWh	Costo Generation USD cents/kWh
			Silicon cryst	Silicon	thin-film
Oct, Nov 08	332,00				
2008	165,00	113,00	1,52 de un total 4,00 X modulo		
2009			2,69 X modulo	0,17	0,13

6. Diseño de Módulos y breves notas de su estructura.



A PV module consists of individual solar cells electrically connected together to increase their power output. They are packaged so that they are protected from the environment and so that the user is protected from electrical shock. However, several aspects of PV module design which may reduce either the power output of the module or its lifetime need to be identified. The following notes will examine how solar cells are encapsulated into PV modules and examine some of the issues which arise as a result of interconnection and encapsulation. The most important effects in PV modules or arrays are:

- ✚ losses due to the interconnection of mismatched solar cells
- ✚ the temperature of the module; and
- ✚ failure modes of PV modules.

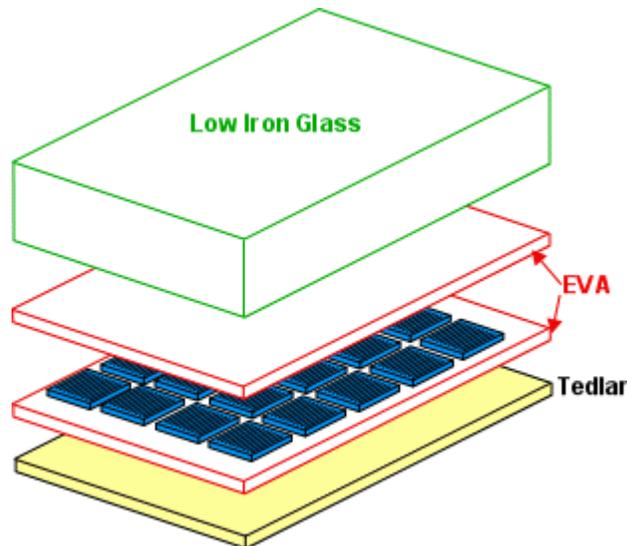
6.1 Structure

A PV module consists of a number of interconnected solar cells (typically 36 connected in series) encapsulated into a single, long-lasting, stable unit. The key purpose of encapsulating a set of electrically connected solar cells is to protect them and their interconnecting wires from the typically harsh environment in which they are used. For example, solar cells, since they are relatively thin, are prone to mechanical damage unless protected. In addition, the metal grid on the top surface of the solar cell and the wires interconnecting the individual solar cells may be corroded by water or water vapour. The two key functions of encapsulation are to prevent mechanical damage to the solar cells and to prevent water or water vapour from corroding the electrical contacts. Many different types of PV modules exist and the module structure is often different for different types of solar cells or for different applications. For example, amorphous silicon solar cells are often encapsulated into a flexible array, while bulk silicon solar cells for remote power applications are usually rigid with glass front surfaces. Module lifetimes and warranties on bulk silicon PV modules are often about 20 years, indicating the robustness of an encapsulated PV module.

6.2 Module Materials

Most PV bulk silicon PV modules consist of a transparent top surface, an encapsulate, a rear layer and a frame around the outer edge. In most modules, the top surface is

glass, the encapsulant is EVA (ethyl vinyl acetate) and the rear layer is Tedlar, as shown below.



Typical bulk silicon module materials

6.3 Front Surface Materials

The front surface of a PV module must have a high transmission in the wavelengths which can be used by the solar cells in the PV module. For silicon solar cells, the top surface must have high transmission of light in the wavelength range of 350 nm to 1200 nm. In addition, the reflection from the front surface should be low. While theoretically this reflection could be reduced by applying an anti-reflection coating to the top surface, in practice these coatings are not robust enough to withstand the conditions in which most PV systems are used. An alternative technique to reduce reflection is to "roughen" or texture the surface. However, in this case the dust and dirt is more likely to attach itself to the top surface, and less likely to be dislodged by wind or rain. These modules are not therefore "self-cleaning", and the advantages of reduced reflection are quickly outweighed by losses incurred due to increased top surface soiling.

In addition to its reflection and transmission properties, the top surface material should be impervious to water, should have good impact resistance, should be stable under prolonged UV exposure and should have a low thermal resistivity. Water or water vapour ingress into a PV module will corrode the metal contacts and interconnects, and consequently will dramatically reduce the lifetime of the PV module. In most modules the front surface is used to provide the mechanical strength and rigidity, therefore either the top surface or the rear surface must be mechanically rigid in order to support the solar cells and the wiring.

There are several choices for a top surface material including acrylic, polymers and glass. Tempered, low iron-content glass is most commonly used as it is low cost, strong, stable, highly transparent, impervious to water and gases and has good self-cleaning properties.

6.4 Encapsulant, Rear Surface, Frame

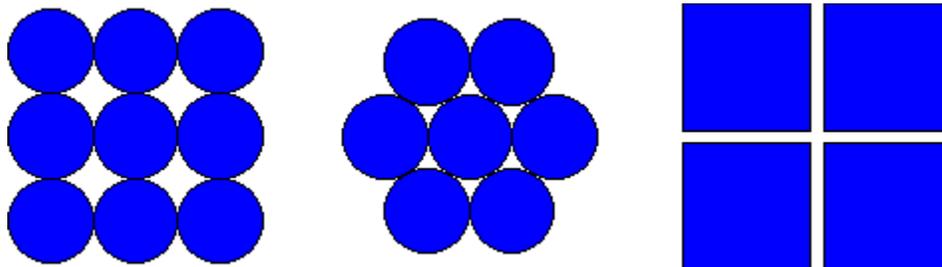
An encapsulant is used to provide adhesion between the solar cells, the top surface and the rear surface of the PV module. The encapsulant should be stable at elevated temperatures and high UV exposure. It should also be optically transparent and should have a low thermal resistance. EVA (ethyl vinyl acetate) is the most commonly used encapsulant material. EVA comes in thin sheets which are inserted between the solar cells and the top surface and the rear surface. This sandwich is then heated to 150 °C to polymerize the EVA and bond the module together.

The key characteristics of the rear surface of the PV module are that it must have low thermal resistance and that it must prevent the ingress of water or water vapour. In most modules, a thin polymer sheet, typically Tedlar, is used as the rear surface. Some PV modules, known as bifacial modules are designed to accept light from either the front or the rear of the solar cell. In bifacial modules both the front and the rear must be optically transparent.

A final structural component of the module is the edging or framing of the module. A conventional PV module frame is typically made of aluminium. The frame structure should be free of projections which could result in the lodgement of water, dust or other matter.

6.5 Packing Density

The packing density of solar cells in a PV module refers to the area of the module that is covered with solar cells compared to that which is blank. The packing density affects the output power of the module as well as its operating temperature. The packing density depends on the shape of the solar cells used. For example, single crystalline solar cells are round or semi-square, while multicrystalline silicon wafers are usually square. Therefore, if single-crystalline solar cells are not cut squarely, the packing density of a single crystalline module will be lower than that of a multicrystalline module. The relative packing density possible with round versus square cells is illustrated below.



The packing density of round and square cells.

6.6 Module Circuit Design

A bulk silicon PV module consists of multiple individual solar cells connected, nearly always in series, to increase the power and voltage above that from a single solar cell.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General

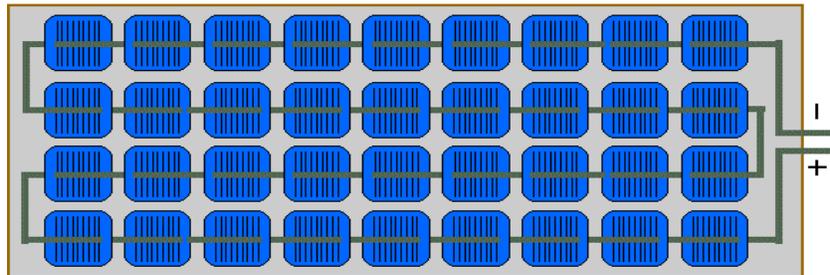
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como

© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.

info@energianow.net

The voltage of a PV module is usually chosen to be compatible with a 12V battery. An individual silicon solar cell has a voltage of just under 0.6V under 25 °C and AM1.5 illumination. Taking into account an expected reduction in PV module voltage due to temperature and the fact that a battery may require voltages of 15V or more to charge, most modules contain 36 solar cells in series. This gives an open-circuit voltage of about 21V under standard test conditions, and an operating voltage at maximum power and operating temperature of about 17 or 18V. The remaining excess voltage is included to account for voltage drops caused by other elements of the PV system, including operation away from maximum power point and reductions in light intensity.

A typical module has
36 cells in series



In a typical module, 36 cells are connected in series to produce a voltage sufficient to charge a 12V battery. While the voltage from the PV module is determined by the number of solar cells, the current from the module depends primarily on the size of the solar cells and also on their efficiency. At AM1.5 and under optimum tilt conditions, the current density from a commercial solar cell is approximately between **30 mA/cm² to 36 mA/cm²**. Single crystal solar cells are often **100cm²**, giving a total current of about **3.5 A** from a module. Multicrystalline modules have larger individual solar cells but a lower current density and hence the short-circuit current from these modules is often approximately 4A. However, there is a large variation on the size of multicrystalline silicon solar cells, and therefore this current may vary. The current from a module is not affected by temperature in the same way that the voltage is, but instead depends heavily on the tilt angle of the module.

6.7 Mismatch Effects

Mismatch losses are caused by the interconnection of solar cells or modules which do not have identical properties or which experience different conditions from one another. Mismatch losses are a serious problem in PV modules and arrays under some conditions because the output of the entire PV module under worst case conditions is determined by the solar cell with the lowest output. For example, when one solar cell is shaded while the remainder in the module are not, the power being generated by the "good" solar cells can be dissipated by the lower performance cell rather than powering the load. This in turn can lead to highly localised power dissipation and the resultant local heating may cause irreversible damage to the module.

Mismatch in PV modules occurs when the electrical parameters of one solar cell are significantly altered from those of the remaining devices. The impact and power loss due to mismatch depend on:

- ✚ the operating point of the PV module;

- ✚ the circuit configuration; and
- ✚ the parameter (or parameters) which are different from the remainder of the solar cells.

Differences in any part of the IV curve between one solar cell and another may lead to mismatch losses at some operating point. Although mismatch may occur in any of the cell parameters shown below, large mismatches are most commonly caused by differences in either the short-circuit current or open-circuit voltage. The impact of the mismatch depends on both the circuit configuration.

7. Regulador de Voltaje.

La función primordial del regulador de carga es proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las sobredescargas. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario. Idealmente la regulación de carga debería atender directamente al estado de carga de la batería, y en la actualidad hay sofisticados reguladores de carga en el mercado que funcionan bajo este principio. Sin embargo, son aún muy complejos y caros, por lo que su uso es difícil de justificar en Sistemas Solares Domésticos.

Con el fin de proteger las baterías contra descargas excesivas, el suministro de electricidad a las cargas debe interrumpirse cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral, llamado "voltaje de desconexión de carga" y no debe reanudarse hasta que el voltaje de la batería no haya superado otro umbral más alto, llamado "voltaje de reconexión de carga". Las normas existentes son bastante inconsistentes en lo que respecta a los valores concretos de estos umbrales, pero esto no es sorprendente, porque el comportamiento eléctrico de las baterías no sólo depende del diseño particular de cada batería y del proceso de fabricación, sino también de la edad de la misma.

Tipos de reguladores.

Existen diferentes tipos de reguladores en los sistemas fotovoltaicos, entre ellos se encuentran:

- Auto regulador
- Reguladores paralelos
- Reguladores serie
- Reguladores de Modulación de ancho de pulso (PWM, Pulse Width Modulación)
- Reguladores DC-DC

7.1 Reguladores autorreguladores.

Como su nombre lo indica este tipo de regulación no hace uso de un dispositivo específico entre panel y batería, mas bien se basa en el hecho de como el voltaje de la batería se incrementa, la corriente disponible desde el panel fotovoltaico conectado en paralelo con la batería, decrece.

Sin embargo, a pesar de esta correspondencia teórica, en particular, tales sistemas trabajan solo si el consumo, la radiación solar y la temperatura del modulo experimentan una muy pequeña variación. A modo de ejemplo, una reducción en el consumo durante un día determinado, provoca un alto estado de carga de la batería

cuando se restablezca la carga en los próximos días, resultando que se sobrecargue la batería. Incluso en condiciones donde el consumo y el clima es bastante regular, variaciones en la temperatura del modulo cada día o durante las estaciones causan problemas con los sistemas "auto-regulados". Por ejemplo, en la temporada calida donde el modulo aportaran un menor voltaje, la batería tendría insuficiente carga, mientras que en la temporada fría donde el voltaje del modulo es mayor la batería experimenta una sobrecarga.

Puesto que la sobrecarga de la batería debido a un excesivo valor de voltaje del panel causa perdida del electrolito y severos daños en la batería, lo más común es encontrar auto-reguladores con bajo voltaje. Los paneles autorregulados, tienen un ligero bajo voltaje, ya que los productores usan solamente 32 celdas en serie en vez de 36, evitando así que se produzca una sobrecarga a la batería.

Sin embargo, el bajo voltaje también significa que en una larga fracción de tiempo el modulo no puede suministrar potencia hacia la batería, por lo que estos sistemas operan de una forma relativamente ineficiente.

7.2 Reguladores tipo paralelo.

En los reguladores tipo paralelo, cuando el voltaje de la batería alcanza un valor predeterminado (batería cargada), la corriente de los paneles es derivada a un circuito que se encuentra en paralelo con el banco de baterías, cuando el voltaje de la batería baja por debajo de un valor mínimo, predeterminado por el fabricante, el proceso de carga se restablece nuevamente.

El circuito de control consiste en un comparador el cual activa o desactiva un transistor. Cuando el voltaje se encuentra por debajo del valor predeterminado, el transistor se encuentra inactivo, y la corriente fluye de los paneles hacia las baterías. Cuando el voltaje sobrepasa el valor predeterminado en el comparador el transistor es activado y la corriente a través del transistor se incrementa, disminuyendo así la corriente hacia las baterías.

En un principio la corriente de los paneles se disipaba en una resistencia fija, esta disipaba en forma de calor la energía eléctrica proporcionada por el arreglo de paneles. Posteriormente un transistor bipolar solía proveer la acción representada por el interruptor en serie con la resistencia de disipación. En la actualidad este sistema ha sido suplantado y el circuito de control actúa sobre un transistor MOS-FET, el cual posee una baja resistencia interna y soporta altos valores de corriente, estas mejoras permiten hacer un efectivo cortocircuito en el arreglo de paneles.

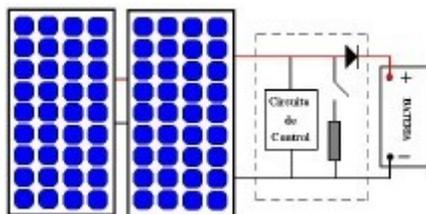


Figura: Regulador de carga paralelo con resistencia disipadora.

Estos reguladores son muy simples y de bajo costo de fabricación, ellos no consumen potencia mientras la batería es cargada. A pesar de estas ventajas ellos son aplicables en sistemas pequeños ya que para valores de voltajes por encima del voltaje de regulación la mayoría de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico debe ser disipada en el. Otra desventaja que le es inherente, esta relacionada con el banco de baterías, es que este debe ser aislado del cortocircuito, es por ello que se debe utilizar un diodo el cual cumple con esta función. Esto provoca una disminución en el voltaje de carga, así como una pérdida de energía (disipación de calor). Para disminuir ambos valores se utiliza diodos Schottky los cuales tienen menor voltaje de trabajo, alrededor de 0.3 V, por lo que las pérdidas son reducidas a la mitad, en comparación con diodos convencionales donde el voltaje de operación se encuentra alrededor de 0.6V

7.3 Reguladores tipo serie.

Los reguladores tipo serie desconectan el arreglo fotovoltaico cuando la batería alcanza el valor de voltaje máximo predeterminado por el fabricante, quedando a circuito abierto el arreglo fotovoltaico. Como el arreglo queda a circuito abierto, el mismo no suministra potencia al regulador ni a las baterías, y por lo tanto la desventaja de la disipación de potencia que presentaban los reguladores tipo paralelo en este caso desaparece, ver figura,

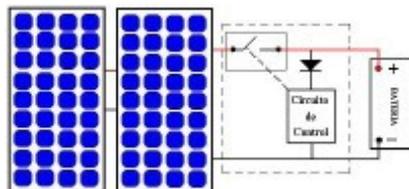


Figura: Regulador de carga tipo serie, Simple etapa.

Sin embargo, los reguladores tipo serie no proporcionan las condiciones de carga ideal ya que la corriente de carga no es suavemente cortada. Un efecto similar al de la disminución progresiva de la carga puede ser alcanzado en grandes arreglos, controlando los arreglos en paralelo abriendo secuencialmente las cadenas. En estos casos tampoco se logra la carga completa del banco de baterías.

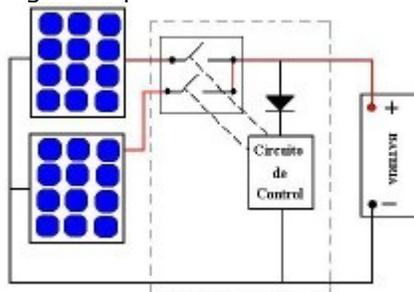


Figura 3: Regulador de carga tipo serie, Multi etapa.

7.4 Reguladores PWM.

Los reguladores que usan la técnica de Modulación de Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation, en ingles), proporcionan cortos periodos de corriente y voltaje hacia las baterías, estos son usados prácticamente durante el periodo de flotación. Como estos periodos son del orden de algunos Khz o mayores nunca ocurren una sobrecarga de las

baterías. La técnica de PWM es superior a la llamada "trickle charging", permitiendo una carga uniforme hasta la capacidad total de la batería.

Al mínimo de corriente necesario para mantener la batería cargada se lo conoce en inglés como "trickle charging".

7.5 Reguladores DC-DC

Este tipo de regulador es el que proporciona la mayor flexibilidad en términos de régimen de carga, pero también involucran mayor complejidad electrónica que los reguladores tipo paralelo y serie. Los reguladores DC-DC operan en los puntos de máxima potencia del arreglo fotovoltaico y siempre se mantienen trabajando en dicho punto, ver figura

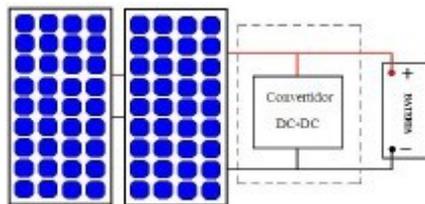


Figura: Regulador de carga tipo DC-DC.

8. Inverter, Inversores, Convertidores.

La función de los inversores es convertir el bajo voltaje de las baterías en el voltaje que es convencionalmente suministrado por la red eléctrica y que es el requerido por muchos tipos de cargas. Los inversores utilizan dispositivos de conmutación para convertir la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC), al mismo tiempo suben el voltaje desde 12, 24 ó 48 V DC hasta 110 ó 220 V AC, 50 ó 60 Hz.

La conversión de DC en AC, como mencionamos anteriormente, se realiza a través de mecanismos de conmutación. En el caso más simple se obtienen ondas cuadradas, sin embargo regimenes de conmutación muchos mas avanzados pueden suministrar formas de onda similares a la de la red convencional. La conversión de bajos voltajes a altos voltajes es logrado a través de los transformadores.

8.1 Forma de Onda de los Inversores

Debido a que los inversores son equipos electrónicos relativamente complicados, muchos de sus parámetros necesitan ser examinados para hacer una apropiada elección. Sin embargo, una de las consideraciones básicas es el tipo de onda de salida que entrega el inversor. Las formas de onda básicas de salida de los inversores son :

- Onda cuadrada.
- Onda cuadrada modificada (también llamada onda cuasi-senosoidal).
- Onda senosoidal pura.

a) Onda cuadrada

Los inversores con onda cuadrada utilizan un régimen de conmutación con relativa simpleza como se describe mas adelante. Debido a que el algoritmo de conmutación es

simple, el resultado de onda cuadrada no es comparable a la suministrada por la red eléctrica. Este es el tipo de inversor más simple. La salida en el puente de transistores es una onda cuadrada con el voltaje igual + VDC o -VDC y la frecuencia de 60 ó 50 Hz. Después de la transformación el voltaje de salida es una onda cuadrada con amplitud 120 V ó 240 V y el pico de 120 ó 240 V. El voltaje de salida es un múltiplo fijo del voltaje de DC. No existe método de regulación del voltaje de salida en función de la variación del voltaje de DC, por lo que si el voltaje de DC decrece se vera afectada la salida.

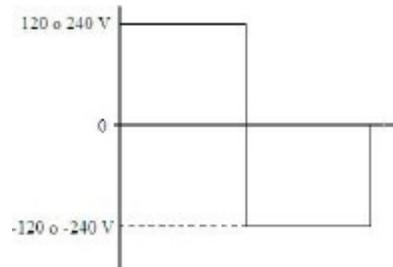


Figura: Onda Cuadrada

b) Onda cuadrada modificada

Este es similar al inversor de onda cuadrada. La salida en el puente de transistores es + VDC, -VDC o 0. Sin embargo, después de la transformación el voltaje de salida es de 240 V AC r.m.s y los valores de pico de 340 V, por lo este tipo de inversor suministra una forma de onda mas aproximada a la de la red eléctrica que el anterior. Este tipo de inversor permite regulaciones del voltaje r.m.s de salida en función de la variación del voltaje de DC de la entrada, a través del control del ancho del pulso de salida W. El pico del voltaje de salida es un valor fijo múltiplo de VDC(determinado por la relación de transformación) y por lo tanto el pico no puede ser regulado.

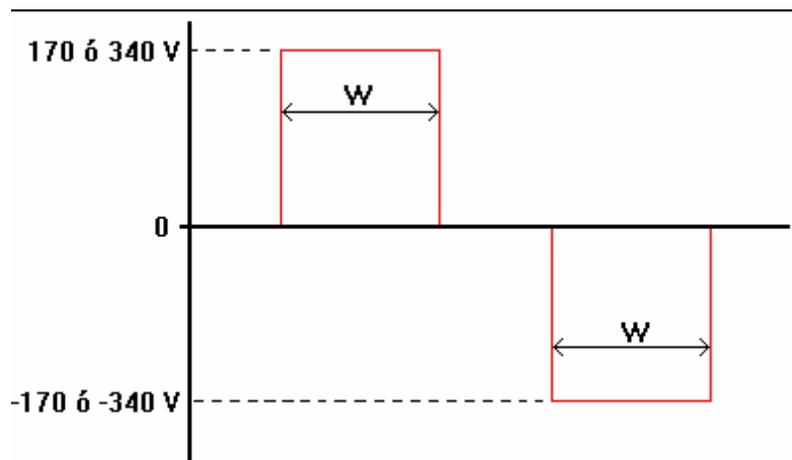
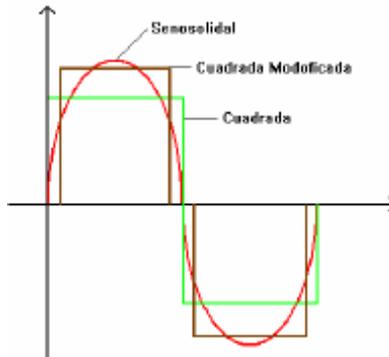


Figura: Onda Cuadrada modificada

c) Onda Senosoidal Pura

Estos inversores proporcionan un voltaje senosoidal igual al suministrado por la red eléctrica, con una distorsión armónica que puede ser inferior al 3%. Los más comunes

basan su principio en la modulación del ancho de pulso (PWM) y un eficiente filtrado para lograr esta forma de onda.



9. Baterías.

Tomado de Libro Fotovoltaicos: Fundamentos y Aplicaciones 2005.pdf del Drs. J.C.Rimada Herrera y Luís Hernández.

Debido a la variabilidad del recurso solar, la mayoría de los Sistemas Fotovoltaicos requieren algún tipo de almacenamiento para la energía producida durante el período donde no se dispone de este recurso. Las baterías es la técnica más común de almacenar energía usada en los sistemas de fuentes renovables de energía. En los Sistemas Fotovoltaicos se requiere del almacenamiento de energía por las siguientes razones [3]:

- Almacenamiento durante la noche: Debido a que en los períodos nocturnos no se dispone de radiación solar, es necesario disponer de energía almacenada si existen cargas que van a ser usadas durante la noche.
- Almacenamiento por períodos nublados: El almacenamiento de energía en baterías es usada para suministrar potencia en periodos de baja insolación donde la potencia del sistema es insuficiente para satisfacer la carga.
- Almacenamiento estacional: Las baterías deben de ser capaces de suplir el déficit de energía producida por el cambio de las estaciones en el transcurso del año, teniendo mayor impacto cuando el perfil de carga es constante durante todo el año.

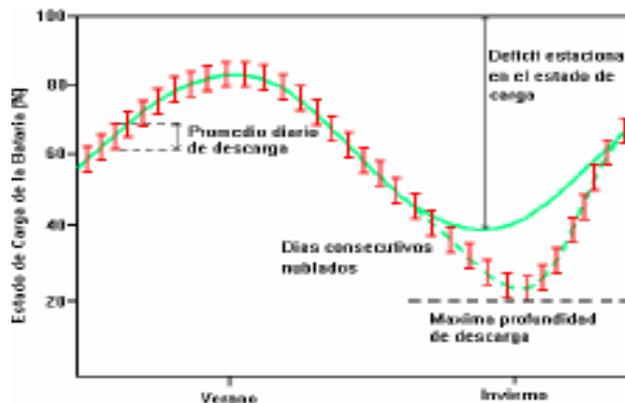


Figura: Estado de carga de la batería durante el año.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.

Existen diferentes tipos de baterías que están potencialmente disponibles para usar en los Sistemas Fotovoltaicos, entre ellas se encuentran:

- Baterías de Plomo- Ácido (SLI automotriz).
- Baterías de Plomo- Ácido (SLI modificadas).
- Baterías Tubulares.
- Baterías VRLA.
- Baterías de Níquel-Cadmio.

9.1 La batería automotriz. Las baterías para automóviles (Plomo-Ácido), usualmente referidas como SLI (Corresponde a las iniciales de las palabras inglesas STARTING, LIGHTING, IGNITION), tienen algunas ventajas. Son las baterías más baratas cuando se las compara en términos de capacidad nominal (la diferencia de precio puede llegar a 4 ó 5 veces), son frecuentemente producidas localmente y están ampliamente disponibles en todos los mercados. La producción local no sólo es conveniente por razones económicas y sociales, sino también porque representa la mejor posibilidad para el reciclado de las baterías usadas y, en consecuencia, para evitar problemas ambientales. El principal inconveniente es su relativa corta vida. Debido a que el diseño de los vasos se optimiza para entregar altas corrientes durante períodos cortos de tiempo, tienen grandes áreas y placas delgadas, y están poco adaptados para suministrar corrientes bajas durante largos períodos de tiempo antes de recargarlos de nuevo, como se requiere en los Sistemas Fotovoltaicos. Las baterías SLI clásicas utilizan aleaciones de plomo y antimonio en las rejillas, y exigen ser frecuentemente rellenadas con agua destilada.

9.2 La batería de PLOMO-ACIDO. Los mecanismos electroquímicos que tienen lugar en el interior de las baterías son los encargados que estas se comporten como fuentes portátiles suministradoras de energía. Estos procesos son reversibles, por lo que la primera conversión tiene lugar en el proceso de carga de la batería, donde la energía eléctrica es transformada en energía química. La segunda, energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería es descargada. Para que estas conversiones puedan llevarse a cabo se necesitan dos electrodos metálicos inmersos en un medio que los vincule, llamado electrolito. Este conjunto forma una celda o vaso, cuyo voltaje excede los 2 V, dependiendo de su estado de carga. En este proceso cada uno de los electrodos toma una polaridad diferente.

La batería comercial, para poder ofrecer un voltaje de salida práctico, posee varias de estas celdas conectadas en serie. Cada celda está compuesta de varias placas positivas y negativas, las que tienen separadores intermedios. Todas las placas de igual polaridad, dentro de una celda, están conectadas en paralelo. El uso de varias placas de igual polaridad permite aumentar la superficie activa de una celda.

Electrolito.

El electrolito se prepara de ácido sulfúrico y agua destilada. Para el trabajo con las baterías es necesario disponer de electrolito puro de alto grado. No se debe emplear ácido sulfúrico grado técnico y agua no destilada, ya que en caso contrario se acelera la auto-descarga, destrucción de las placas y reducción de su capacidad. Durante la composición del electrolito el ácido sulfúrico se agrega al agua con un chorro fino

agitándose al mismo tiempo. Se prohíbe verter el agua al ácido, ya que en este caso se desprende una gran cantidad de calor en las capas superiores de la solución.

Características de las baterías.

Si el acumulador está en reposo su f.e.m casi no depende del grado de carga de las placas y varía con el cambio de la densidad del electrolito. La f.e.m en reposo de la batería de plomo-ácido se puede calcular según la formula empírica:

$$E_r = \gamma + 0,84$$

donde γ es la densidad del electrolito a 20 OC.

En el proceso de descarga el voltaje de la batería es menor que su f.e.m en la magnitud de caída de voltaje en el interior de la batería ($I_{desc} \cdot r_i$), provocado por la resistencia interna de la batería (r_i).

La dependencia del cambio de la densidad del electrolito (γ), la f.e.m y el voltaje de la batería (U_{desc}), siendo constante la intensidad de corriente de descarga, respecto al tiempo de descarga, se denomina característica de descarga de la batería, esta es mostrada en la figura siguiente:

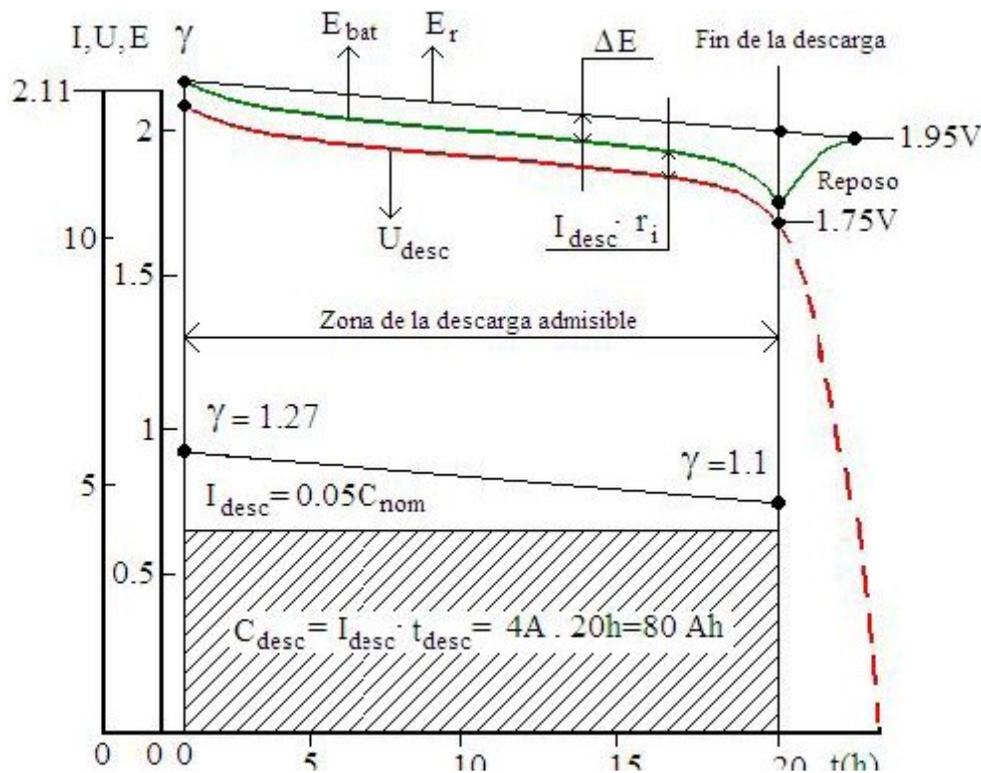


Figura 6: Características de la batería en régimen de descarga de 20 horas.

Las características de descarga se toman durante la descarga interrumpida de la batería cargada por completo con intensidad de corriente igual a 0.05 de su capacidad nominal hasta la tensión final de 1.75 V. Con ayuda de un reóstato, durante la descarga se mantiene la intensidad constante de la corriente de descarga (I_{desc}) y se

mide los voltajes U_{Desc} E_{bat} en los bornes de la batería, así como la densidad del electrolito. El voltaje de la batería E_{bat} que no es más que su f.e.m se mide con el circuito exterior desconectado, la f.e.m en reposo se calcula según la formula empírica.

Del grafico anterior se puede ver que el voltaje en los bornes de la batería U_{Desc} es menor que la f.e.m de la batería E_{bat} en la magnitud de caída de voltaje producto de la resistencia interna de la batería r_i , ($I_{desc} \cdot r_i$.)

$$U_{Desc} = E_{bat} - (I_{desc} \cdot r_i)$$

pero como, la f.e.m de la batería E_{bat} es menor que la f.e.m en reposo E_r en una magnitud, ΔE . $E_{bat} = E_r - \Delta E$

se puede concluir que durante la descarga de la batería el voltaje de descarga U_{Desc} en sus bornes será menor que la f.e.m en reposo E_r en la magnitud de caída de voltaje por la resistencia interna y la magnitud de caída de la f.e.m. ΔE

$$U_{Desc} = E_r - (I_{desc} \cdot r_i) - \Delta E$$

La cantidad de electricidad que devuelve la batería cargada, durante su descarga hasta el limite admisible, en nuestro ejemplo 1.75V, se denomina **capacidad de la batería**.

La capacidad de la batería C_{desc} se mide en amperes-horas (A.h) y se expresa por:

$$C_{desc} = I_{desc} * t_{desc}$$

en nuestro ejemplo $C_{desc} = 4 \text{ A} \cdot 20\text{h} = 80 \text{ A.h}$

Desperfectos de las baterías de PLOMO-ACIDO

✚ Oxidación de la salida de los polos
✚ Autodescarga acelerada de la batería. Las causas de la aparición de autodescarga acelerada son:

- a) Cortocircuito de los bornes con la suciedad y el electrolito derramado en la superficie de la tapas de las baterías.
- b) Cortocircuito de las placas de signos diferentes con la materia activa que cae.
- c) Cortocircuito a causa de la destrucción de separadores
- d) Formación de corrientes locales (parásitas) en la materia activa de las placas.
- e) Densidades diferentes en las capas superiores e inferiores del electrolito.

✚ Densidad del electrolito reducida o elevada

✚ Sulfatación de las placas.

✚ Destrucción anticipada de las placas.

✚ Cortocircuito de las placas de signos diferente

9.3 La batería solar. Baterías que se ajustan a los sistemas fotovoltaicos.

El modelo de batería usado en los automotores está diseñado para sostener corrientes elevadas (200 a 350 A) por muy breves instantes (segundos) durante el arranque del motor. El resto del tiempo la batería está siendo cargada o permanece inactiva. La

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.

batería de un sistema solar, por el contrario, debe ser capaz de sostener corrientes moderadas (una decena de amperes), durante horas. Además, en muchas aplicaciones, deberá permanecer activa sin recibir carga alguna (servicio nocturno). Normalmente, los períodos de reposo son nulos, ya que está siendo cargada o descargada. Diferentes requerimientos de uso sólo pueden satisfacerse con diseños distintos.

La menor vida útil de las baterías para automóviles puede compensarse, hasta cierto punto, introduciendo modificaciones relativamente simples que afectan al diseño de la batería pero no a su tecnología. Las modificaciones más comunes son: placas más gruesas y mayor cantidad de electrolito en el espacio por encima de las placas. Estas baterías SLI modificadas se comercializan a veces como baterías "solares" y representan una alternativa interesante para el futuro de los Sistemas Fotovoltaicos. Siempre que sea posible, deben seleccionarse baterías SLI modificadas. Para que una batería pueda ser apropiadamente considerada como "SLI modificada", debe cumplir las siguientes condiciones:

1. El espesor de cada rejilla debe exceder los 2mm.
2. La cantidad de electrolito debe exceder 1,15 l por vaso y por cada 100 Ah de capacidad nominal en 20-horas.
3. Los separadores deben ser de polietileno microporoso.
4. La densidad del electrolito no debe exceder 1,25 g/cm³.

Los electrodos de una batería solar tienen una aleación de antimonio, la que permite adherir una mayor cantidad de material activo. El envejecimiento de una batería se produce por la pérdida de éste cuando la batería es descargada. Celdas con mayor cantidad de material activo tienen una más larga duración y profundidad de descarga. El incremento del material activo aumenta el costo y el peso de la batería. La presencia del antimonio incrementa las pérdidas por autodescarga. Si una batería solar permanece en almacenamiento, debe ser cargada con frecuencia. Como la presencia del antimonio incrementa la gasificación, la corriente de carga en un sistema Fotovoltaico debe tener un régimen variable.

Dos características identifican a una batería solar: la mayor profundidad de descarga (PD) y un alto valor para el ciclaje. La batería de automotor está diseñada para soportar una leve PD. Para ilustrar este aspecto, asumiremos que en invierno la corriente de arranque alcanza 350A y dura 3 segundos. Durante el arranque la batería habrá entregado 0,29Ah (350 x 3/3.600). Como la capacidad típica de estas baterías es de 80Ah, los 0,29Ah representan una PD de sólo 0,36%. Tomaría tres arranques consecutivos para que la PD llegase al 1%. La batería solar permite una PD máxima del 80%, cientos de veces, a niveles de corriente moderados. Es por ello que a estas baterías se las denomina de ciclo profundo (BCP).

Se considera que una BCP ha completado todos los ciclos de carga y descarga cuando, al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga depende de la PD. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para una PD dada, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos.

Es de la mayor importancia señalar que las medidas de capacidad nominal se realizan mediante ensayos de descarga que se efectúan con posterioridad a procedimientos de carga bien estandarizados (por ejemplo, 24 horas a 2,4 V/vaso). Estos procedimientos aseguran la completa formación de las placas, lo que significa que las partes relevantes del material homogéneo de las placas, utilizado en la fabricación de la batería, se convierten en óxido de plomo en los electrodos positivos y en plomo en los electrodos negativos. Ahora bien, ocurre que las placas de las baterías nuevas no están a menudo completamente formadas, y tienen restos de otros materiales, lo que lleva a valores iniciales de la capacidad que están significativamente por debajo de los valores nominales.

Esta pobre formación puede normalmente compensarse sometiendo la batería a apropiadas cargas iniciales, pero en los sistemas fotovoltaicos aislados no puede suponerse que esta condición se vaya a cumplir, debido a la intrínsecamente limitada disponibilidad de corriente de carga. El resultado es que una buena tecnología de baterías puede ser desaprovechada porque en el campo no puedan respetarse las instrucciones de carga inicial. Por lo tanto, deben hacerse las previsiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías no está significativamente por debajo de los valores nominales. Esto puede lograrse con un proceso apropiado de formación durante la fabricación de la batería, o mediante la realización de cargas iniciales cuando la batería ya está instalada.

Sin embargo, si se elige esta última alternativa, el personal que instale las baterías debe tener los equipos necesarios para cargarlas, y estar capacitado para controlar y realizar las cargas iniciales. Este tipo de solución es generalmente inapropiado en Sistemas Fotovoltaicos, debido a lo remoto de las condiciones características de operación. A menudo, las baterías se transportan sin electrolito, y no se llenan hasta el momento de su instalación definitiva. Este proceder ofrece ventajas de seguridad durante el transporte y evita la autodescarga durante el almacenaje, pero requiere (no siempre) de la realización de cargas iniciales en el lugar de instalación que, como se ha mencionado, es un procedimiento difícil en el caso de los Sistemas Fotovoltaicos.

Una buena alternativa es almacenar las baterías "secas", y llenarlas con electrolito justo antes de enviarlas a su destino final. Esto requiere que las baterías sean transportadas con electrolito, pero permite realizar la carga inicial en los talleres del instalador.

9.4 Baterías solares de bajo mantenimiento

Las baterías SLI de "bajo mantenimiento", a veces comercializadas bajo el epígrafe de "baterías libres de mantenimiento", a menudo utilizan aleaciones de plomo y calcio en las rejillas. El calcio aumenta el voltaje al que comienza a producirse el gaseo, pero reduce la cohesión del material activo de las placas. En consecuencia, el calcio reduce el consumo de agua, pero también reduce la resistencia al ciclado de la batería. Estas baterías son particularmente vulnerables a los daños por descargas profundas. Además están sujetas a deterioro por grandes variaciones de temperatura. Por esta razón, muchos diseñadores de sistemas fotovoltaicos recomiendan fuertemente no utilizarlas en aplicaciones fotovoltaicas en países cálidos.

Sin embargo, la característica "libre de mantenimiento" resulta muy atractiva para algunos, y estas baterías se han utilizado extensamente en algunos países

9.5 Baterías tubulares.

Unas de las mejores baterías para uso fotovoltaico son las que están hechas con placas tubulares y rejillas con bajo contenido de Sb-Se. Con estas baterías se pueden alcanzar vidas útiles superiores a los 8 años. Una desventaja de este tipo de baterías es que no aceptan regímenes de carga muy bajos, además, son caras y están poco disponibles en los mercados actuales de los países en desarrollo.

Una batería tubular de plomo está constituido de un bloque de placas, compuesto de un apilamiento de placas alternativamente positivas y negativas, dentro de una disolución de ácido sulfúrico. Las placas de la misma polaridad están unidas por barras de plomo soldadas (peines y vástago) terminado en los bornes del acumulador. Entre las placas se ponen separadores microporosos que sirven para aislar eléctricamente las placas de polaridades diferentes y constituir una reserva de ácido sulfúrico.

El electrodo positivo tubular está constituido de un colector en plomo, constando de una cabeza de placa horizontal y espinas verticales. Estas espinas penetran en una vaina de tejido doble de fibra de poliéster, rigidificado en caliente por una resina acrílica. El espacio entre espina y vaina, se rellena por óxido (materia activa), las extremidades bajas de los tubos se obturan por una barrita de plástico.

La placa positiva tubular ofrece un mejor comportamiento que la placa plana, tanto en flotación como en ciclos de carga descarga gracias a su geometría y a su realización técnica. La disgregación de la materia activa, está limitada por su conservación en las vainas de hilos de poliéster de alta tenacidad. Estas vainas permiten contener las partículas de dióxido de plomo y disminuir las variaciones de volumen de la materia activa en los ciclos de vida. Las espinas resisten mejor la corrosión a causa de:

1. Su estructura metalográfica más fina. El plano de las espinas obtenidas por inyección (en lugar de por gravedad en las rejillas planas) posee un granulado más pequeño que limitan la corrosión ínter granular.

2. Su sección más importante que las de las barras de las rejillas planas. La rejilla de espinas posee una débil resistencia eléctrica ya que todo el plomo necesario para su fabricación colecta corriente de una manera favorable. A masa equivalente, la ausencia de barras horizontales permite aumentar la sección de las espinas (+20 % en sección vertical). El electrodo negativo es de tecnología "placa plana", constituido por una rejilla de aleación de plomo con barras verticales y horizontales que delimitan "pastillas" de forma rectangular donde se empasta la materia activa. La materia activa negativa, se prepara a partir de ácido sulfúrico y óxido de plomo. Además contiene en pequeñas cantidades otros productos como los expansores. Después de su formación queda como Plomo. Menos solicitada que la placa positiva en corrosión, la placa negativa es siempre de tecnología placa plana. Está concebida de forma a constituir con la positiva un conjunto homogéneo en duración caracterizado por la relación materia activa positiva/materia activa negativa. El separador que tiene en primer lugar una función mecánica de espaciador entre placas de diferente polaridad, desempeña aun función importante en la batería, este debe tener:

1. Buena porosidad para conservar una cantidad suficiente de electrolito. El separador, garantiza ampliamente ésta función gracias al reducido espesor de sus constituyentes y a la importante cantidad de electrolito que delimita por su espesor.
2. Débil resistencia eléctrica. Sólo la hoja de polietileno aumenta la resistencia eléctrica: es débil por su naturaleza (polietileno) y su espesor.
3. Buenas propiedades mecánicas. El separador de polietileno robusto y flexible permite envolver las placas y suprimir de esta forma los cortocircuitos laterales de las placas.
4. Buena resistencia química al ácido sulfúrico. El separador de polietileno, no posee productos de descomposición conteniendo cloro (percloratos).
5. Función de limitador de la contaminación de la materia activa negativa, por los iones antimonios migratorios. El envenenamiento de la negativa acarreado un aumento de la autodescarga y problemas de recarga, está limitando gracias a una transferencia de compuestos orgánicos contenidos inicialmente en el separador.
6. Estos compuestos migran hacia la materia activa negativa y se fijan preferentemente sobre los depósitos de antimonio, bloqueando su efecto nefasto y favoreciendo su hidrogenación. Las rejillas y espigas de los elementos tubulares son de aleación de plomo de bajo contenido de antimonio inferior al 3%. El envenenamiento de la negativa por los iones antimonilos está muy disminuido. Esta elección da las ventajas siguientes:
 1. Débil corriente de flotación gracias a la disminución de la autodescarga.
 2. Débil consumo de agua.
 3. Vida más larga.
 4. Mantenimiento reducido.

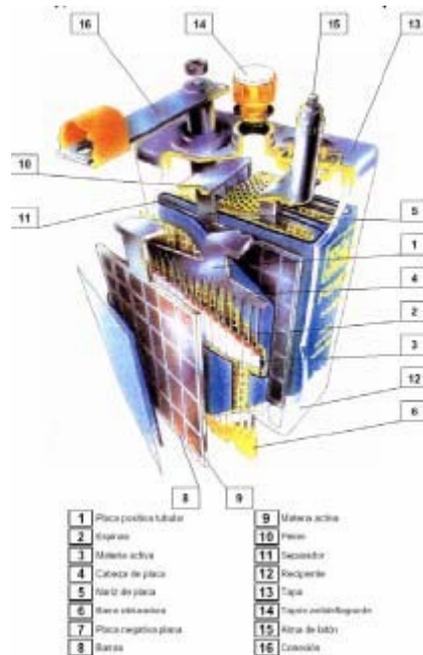
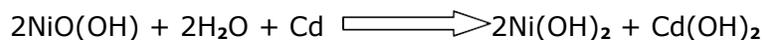


Figura 8: Partes constituyentes de una batería tubular.

9.6 Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Las baterías de Ni-Cd usan hidróxido de níquel trivalente NiOOH como materia activa en las placas positivas y cadmio Cd en las placas negativas. El electrolito es una solución acuosa de hidróxido de potasio KOH que contiene hidróxido de litio LiOH en pequeñas cantidades para mejorar el ciclo de vida y la operación en altas temperaturas. El electrolito en este tipo de batería tiene un rol pasivo ya que es utilizado solamente para la transferencia de iones, el mismo no sufre cambios químicos durante los ciclos de carga/descarga. Las estructuras soporte de ambas placas, positivas y negativas esta hecha de acero, por lo que son inafectadas por el electrolito y mantienen estas características a través del tiempo de vida de las celdas. La reacción de carga descarga en las baterías de Ni-Cd es la siguiente:



En este tipo de batería durante la descarga el hidróxido de níquel trivalente es reducido a hidróxido de níquel divalente en las placas positivas, mientras que el cadmio es reducido a hidróxido de cadmio en las placas negativas.

En el proceso de carga tiene lugar la reacción en sentido contrario, este se lleva a cabo hasta que el potencial de la celda alcanza el nivel donde el hidrogeno es desprendido en las placas positivas y el oxigeno en las negativas, lo que trae como consecuencia la perdida de agua. Distinto a las baterías de plomo-ácido esta perdida de oxigeno e hidrogeno provoca pequeños cambios en la densidad del electrolito durante la carga y la descarga, esto permite tener grandes reserva de electrolito para ser usado sin inconveniente.

El voltaje de las celdas de Ni-Cd es el resultado del potencial electroquímico de la materia activa del níquel y cadmio en presencia del hidróxido de potasio como electrolito. El potencial electroquímico de estos compuestos es de 1.2 V. Estas baterías tienen un número de ventajas sobre las baterías de plomo-ácido, entre ellas se encuentran:

1. Pueden ser sobrecargadas.
2. Pueden ser completamente descargadas, eliminando la necesidad de sobredimensionar del banco de baterías.
3. Son más robustas.
4. Tienen mucho mejor funcionamiento en las bajas y altas temperaturas.
5. Tienen baja resistencia interna.
6. Pueden ser cargadas a mucha mayor relación.
7. Mantienen un voltaje uniforme durante la descarga.
8. Tienen un largo tiempo de vida.
9. Requieren un bajo mantenimiento

Sin embargo, ellas presentan también una serie de desventajas, entre ellas se encuentran:

1. Son típicamente tres veces más caras.
2. Necesitan ser descargada completamente para prevenir el efecto "memoria".

El efecto de memoria es famoso por su inconveniencia. En las baterías de Ni-Cd los procesos de carga deben ser realizados con cuidado. Típicamente, si la batería es recargada aún conteniendo 30% de carga, pasara a conseguir usar apenas los restantes 70% de capacidad. Si es recargada con 60%, la capacidad queda reducida a 40%.

En una batería de Ni-Cd, los elementos activos, Níquel y Cadmio, existen en forma de cristales. Cuando las baterías son recargadas antes de descargadas totalmente, ocurre el efecto de memoria y los cristales crecen y se acumulan en formaciones, haciendo que la batería pierda gradualmente su capacidad. Rigurosamente no es el efecto de memoria (que vuelve los cristales mayores), pero si el efecto de cristalización (que produce acumulaciones de cristales) el verdadero problema de las baterías. En estado de degradación adelantados, las formaciones de cristales pueden hasta romper el separador aislante provocando niveles altos de auto-descarga o un corto-circuito.

Las baterías de NiMH y de Litio no tienen problemas de cristalización, luego, no sufren con el efecto de memoria.

10. Referencias.

- ✚ <http://www.pv.unsw.edu.au/>. University of New South Wales. Photovoltaics: Devices, Systems and Applications.
Christiana Honsberg & Stuart Borden.
- ✚ Fotovoltaicos: Fundamentos y Aplicaciones. Conferencias impartidas en el Diplomado Energía Fotovoltaica. Laboratorio de Celdas Solares, IMRE, Universidad de La Habana. Cuba
- ✚ <http://www.sel.me.wisc.edu/>. University Wisconsin-Madison Solar Energy Laboratory
- ✚ <http://www.sij.fh-aachen.de/> Solar Institut Juelich Germany.
- ✚ <http://www.ases.org>. American Solar Energy Society
- ✚ <http://www.ies-def.upm.es/> Institute of energy and sustainable development
- ✚ <http://www.nrel.gov/ncpv/> National Center for Photovoltaics
- ✚ <http://userwww.sfsu.edu/~ciotola/solar/> National Solar Power Research Institute, Inc.
- ✚ <http://www.nmsea.org/> New Mexico Solar Energy Association
- ✚ <http://www.ncsc.ncsu.edu/> North Carolina Solar Center
- ✚ <http://www.photonics.com> Photonics Spectra Magazine
- ✚ <http://www.solarenergycentre.com/> Solar Energy Centre Denmark
- ✚ <http://rredc.nrel.gov/solar/> Solar Radiation Resource Information
- ✚ <http://www.ecobuild.com/> EcoBuild
- ✚ http://www.ujaen.es/investiga/solar_Guía_Solar_GreenPeace_2003
- ✚ <http://www.ece.gatech.edu/research/UCEP/> University of Florida - Solar Energy and Energy Conversion Laboratory
- ✚ <http://www.eere.energy.gov/> U.S. Department of Energy Photovoltaics Program
- ✚ <http://www.renewable-energy-world.com> Renewable Energy World. Magazine
- ✚ <http://www.ipcc.ch> IPCC - OMM – PNUMA
- ✚ <http://www.cosp.com/> Cogeneration & On-Site Power



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene mas de 30 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.