

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BATERIAS SOLARES VRLA UTILIZADOS EN EL PERMER-ARGENTINA

^(1,2)Vera Luis H. - e-mail: lh_vera@yahoo.com.ar

⁽¹⁾Martelote Bruzzo Jonathan. - e-mail: jonibruzzo@gmail.com

⁽¹⁾Cáceres Manuel. - e-mail: ingmanuelcaceres@hotmail.com

⁽¹⁾Firman Andres D. - e-mail: andresfirman@gmail.com

⁽¹⁾ Universidad Nacional Del Nordeste, Grupo en Energías Renovables (GER), Av. Libertad n° 5460, Corrientes, 3400, Argentina, Teléfono/Fax: 0054-379- 4473931.

⁽²⁾ Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Av. Las Heras 727, Resistencia, 3500, Argentina, Teléfono/Fax: 0054-362- 420076.

Resumen. En la República Argentina el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) tiene como principal objetivo el abastecimiento de electricidad a viviendas, centros de salud y escuelas rurales mediante la instalación de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA). El PERMER ya ha instalado más de 25000 sistemas de este tipo. Actualmente, el PERMER ha realizado dos nuevas licitaciones con el fin de instalar 13770 sistemas fotovoltaicos en viviendas localizadas en 11 provincias de la República Argentina. En este artículo se presentan los resultados de los ensayos de capacidad realizados sobre baterías que fueron instaladas en 4 (cuatro) provincias. Dichos ensayos se han realizado sobre 2 (dos) tipos de baterías, que serán instaladas en 2000 viviendas, siguiendo la metodología especificada en la norma IEC 61427 así como las especificaciones solicitadas en el pliego de la LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL realizado por el cuerpo técnico del PERMER. Los resultados obtenidos han mostrado una gran diferencia en el comportamiento de una marca en relación a la otra. Una de las baterías no superó la primera prueba de conformidad especificados en la norma EN 61427 - 2005, mientras que la otra marca de baterías ha presentado resultados satisfactorios. No en tanto, los dos tipos de baterías pasan los ensayos solicitados por el PERMER, hecho que permite afirmar que los ensayos realizados según esta última metodología no son apropiados para evaluar la calidad de las baterías. De esta manera, sin importar la calidad de los acumuladores, el ensayo no normalizado llevado a cabo para los acumuladores permite que casi cualquier batería pase los ensayos de recepción, en detrimento de la confiabilidad del sistema fotovoltaico autónomo.

Palabras-claves: Energía Solar, Sistema Fotovoltaico Autónomo, Baterías Pb-ac

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el mercado solar fotovoltaico creció de manera acelerada, siendo el sector fotovoltaico conectado a red el más dinámico (REN21, 2016). El motivo de este impulso se debe esencialmente a la implementación de programas en países desarrollados que han incentivado el uso de las energías renovables. Estos programas han permitido un crecimiento exponencial de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red y han traído consigo una importante reducción de los costos de los módulos FV y los equipos electrónicos que se utilizan en dichos sistemas.

Los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), cuya instalación busca principalmente contestar a un problema de falta de energía respondiendo a una necesidad de equidad social, también se han visto beneficiados por la reducción de los costos de los módulos y de los reguladores de carga; situación que permite que los nuevos proyectos, en los países en desarrollo, encuentren la respuesta a electrificación rural principalmente a través de la instalación de SFA. Argentina sigue esta tendencia, a través del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER, 2017) iniciado en el año 1999, que permitió a numerosas provincias beneficiarse de nuevas instalaciones fotovoltaicas para abastecer de energía eléctrica a escuelas, centros comunitarios, puestos sanitarios y viviendas. Como ejemplo de las acciones del PERMER, en el año 2008, concluyó el primer proyecto de media escala en la provincia de Corrientes, con la electrificación de 85 escuelas rurales utilizando SFA (Bello et al., 2010) y en el año 2012 la instalación de 1200 SFA en viviendas (también en dicha provincia).

Los resultados definitivos del Censo 2010 (INDEC, 2010) publicados por el INDEC muestra que de 267.843 hogares que fueron relevados en Corrientes se determinó que más de 10 mil de los mismos no cuentan con suministro de energía eléctrica. La cifra representa al 4% del total relevado durante el Censo. La provincia presenta el menor índice de población sin servicio energético del NEA, ya que Misiones, Chaco y Formosa tienen porcentajes superiores. Es

decir, solo en la región NEA de Argentina existen 52.000 hogares sin acceso a energía eléctrica (<http://www.censo2010.indec.gov.ar>).

La situación presentada ha llevado a que en el año 2016 se reactive el PERMER con el objetivo de responder a la demanda de electrificación rural con el fin del acceso universal a la energía. Esta nueva campaña ha sido posible a través de un préstamo, de USD 200 millones, efectuado por el Banco Mundial a la República Argentina (PRÉSTAMO BIRF 8484-AR – PERMER).

Es sugestivo comentar que investigando sobre tasa de electrificación rural en Latinoamérica en la página del Banco Mundial se informe que en el año 2014 el 100% de la población argentina tenía acceso a energía eléctrica (<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?view=map>), hecho que confunde a los autores considerando que dicha entidad realizó un préstamo para electrificación rural, en un país que no existen habitantes sin acceso a la energía eléctrica.

En la Tab. 1 se presenta un detalle de las últimas 2 (dos) licitaciones realizadas por el PERMER cuyo objetivo es la instalación de 13.700 SFA en viviendas rurales de 11 provincias de Argentina. En dicha tabla se detallan la cantidad de instalaciones a ser realizadas en cada provincia, así como el costo unitario y total. Se presenta también, en una de las columnas, el número de licitación, ya que los sistemas adjudicados en la licitación N°2 ya se encuentran en etapa de instalación y los sistemas de la licitación 3 se prevé que comiencen en febrero de 2018.

Tabla 1 – Detalle de los SFA adjudicados por el PERMER durante el año 2016 y 2017

Lote	Provincia	Cant. de equipos	Plazo ejecución	N° Licitación	Monto (USD)	Costo Unitario (USD)
1	Catamarca	512	6 meses	2	USD 960.554	USD 1.876,08
2	Catamarca	425	6 meses	2	USD 797.384	USD 1.876,20
4	Chaco	741	7 meses	2	USD 1.409.597	USD 1.902,29
5	Entre Ríos	480	6 meses	2	USD 900.810	USD 1.876,69
6	La Pampa	256	5 meses	2	USD 494.728	USD 1.932,53
8	Salta	628	7 meses	2	USD 1.051.458	USD 1.674,30
9	Salta	459	6 meses	2	USD 1.051.594	USD 2.291,05
10	Salta	655	7 meses	2	USD 1.092.457	USD 1.667,87
12	Salta	534	6 meses	2	USD 1.162.635	USD 2.177,22
13	Salta	617	7 meses	2	USD 1.328.494	USD 2.153,15
1	Salta	909	13 meses	3	USD 1.765.793	USD 1.942,57
2	Salta	1111	15 meses	3	USD 2.098.281	USD 1.888,64
3	Tucumán	698	10 meses	3	USD 1.322.896	USD 1.895,27
4	Corrientes	700	10 meses	3	USD 1.378.127	USD 1.968,75
5	Río Negro	600	9 meses	3	USD 1.346.246	USD 2.243,74
6	Río Negro	600	9 meses	3	USD 1.335.986	USD 2.226,64
7	Río Negro	569	9 meses	3	USD 1.283.439	USD 2.255,60
8	San Juan	100	6 meses	3	USD 417.629	USD 4.176,29
9	Santa Cruz	660	9 meses	3	USD 1.753.313	USD 2.656,53
10	Neuquén	681	9 meses	3	USD 1.549.250	USD 2.274,96
11	Chaco	664	9 meses	3	USD 1.274.584	USD 1.919,55
12	Salta	1171	15 meses	3	USD 2.199.022	USD 1.877,90
TOTAL	11 PROVINCIAS	13770	15 MESES	5 empresas adjudicadas	USD 27.974.277	USD 2.031,54

En la Tab. 1 se observa que el valor promedio por instalación se encuentra en los USD 2000 por vivienda, estos valores tienen una variación provincia a provincia principalmente debido a los gastos de logística asociados a las dificultades de llegar a los puntos de instalación, no a las diferencias de costo existentes en los componentes que forman los sistemas. Esto queda claro cuando se informa que todos los lotes de la licitación 3 fueron adjudicados a una sola empresa (extranjera) y que el 85% de las instalaciones utilizan los mismos componentes.

1.1 Componentes de los sistemas fotovoltaicos autónomos

Los SFA licitados en el pliego 2, y que se encuentran actualmente en etapa de instalación, están constituidos por un módulo fotovoltaico de 130 Wp, un regulador de carga de 12 V 15/15 A, un convertor de CC/CC, 6 (seis) lámparas de led 12V y 7W, tablero de protección/seccionamiento, toma corrientes de 12 V de tipo encendedor y una batería monoblock de Pb-ac de 12V tipo gel o electrolito absorbido con VRLA cuya capacidad mínima estipulada es de 80 Ah.

Los SFA licitados en el pliego 3, cuyos componentes aún no han llegado al país, están constituidos por 2 (dos) módulos fotovoltaicos de 100 Wp cada uno, un regulador de carga de 12 V 20/20 A, toma tipo USB de 5V, 9 (nueve) lámparas de led 12V y 7W, tablero de protección/ seccionamiento, toma corrientes 12 V de tipo encendedor y una batería monoblock de Pb-ac de 12V tipo gel o electrolito absorbido con VRLA cuya capacidad mínima estipulada es de 70 Ah. En un lote también se solicita un inversor de 220 V y los componentes difieren de lo antes especificado.

Evalutando la configuración de los sistemas se determinó que la capacidad de la batería no es adecuada para la capacidad de generación y de consumo, para ninguno de los sistemas especificados. Además, se observa que se han dimensionado todos los sistemas de igual manera sin considerar las características de cada provincia. Características que determinan la capacidad de la batería para una autonomía fijada.

Dado que estas instalaciones son la única fuente de energía presente, el sistema de almacenamiento de energía es un punto clave. Por lo tanto, definir el comportamiento del mismo es de vital importancia dado que estos son los componentes menos fiables en los SFA (Vera, 2009). Una incorrecta determinación de la capacidad real de las baterías conduce a previsiones erradas de la confiabilidad de los SFA. En los últimos años, a través de estudios realizados por el Grupo en Energías Renovables (GER - UNNE), en zonas rurales del Nordeste Argentino (NEA) se ha verificado que uno de los principales agentes de falta de energía en los SFA es la pérdida prematura de capacidad del banco de acumuladores (Bello et al., 2012). Hecho que ha conducido al desarrollo de un sistema para ensayos de baterías que permite determinar la capacidad real de los sistemas de acumulación así como el tiempo de vida útil de las baterías utilizadas en el PERMER.

Considerando la situación planteada y que actualmente las baterías son los elementos más costosos; se ha planteado evaluar las baterías que están siendo actualmente instaladas a través de ensayos normalizados y ensayos especificados en el pliego del PERMER

1.2 Normas y procedimientos de ensayo de baterías solares

Las baterías son sometidas a diferentes ciclos de carga y descarga y también experimentan un amplio rango de condiciones de operación. Estas variaciones son debidas a los diferentes usos y temperaturas de trabajo a las que se encuentran sometidas en el lugar donde son instaladas. A su vez, esto resulta en diferentes características de desempeño y mecanismos que llevan a la falla de las baterías. En la actualidad existen diversas normas que pueden ser aplicadas para ensayar los tipos de baterías utilizadas en Sistemas de Energías Renovables (SER). Algunas de estas normas son específicas para sistemas autónomos.

La norma EN 61427 – 2005 propone diferentes metodologías de ensayos para evaluar el desempeño de las baterías. Entre ellos podemos mencionar ensayos para la Determinación de capacidad, Durabilidad, Retención de carga, Recuperación de capacidad y Eficiencia de carga/descarga. Estos ensayos deben ser realizados a temperatura constante de 25 °C en un baño de agua termostatzado y con tensión y corriente controlada.

Para la determinación de la capacidad a una determinada tasa de descarga, en primer lugar se lleva a cabo una serie de ciclos de descarga-recarga y tiempo de reposo (de 3 a 4 ciclos) de la batería, con el fin de estabilizar la capacidad de la misma. Realizado ese paso previo se puede llevar a cabo la determinación de la capacidad real, que será igual al producto entre tiempo empleado en alcanzar la tensión mínima admisible y la cantidad de corriente que fue extraída de la misma. Se define la capacidad de una batería como la cantidad de electricidad en Ah, a la temperatura de referencia, suministrada por la batería bajo determinado régimen de descarga hasta alcanzar la tensión final de descarga.

La norma también especifica la metodología para realizar ensayos de durabilidad, de Retención de carga y de eficiencia de carga/descarga.

Durante todos los ensayos se realizan mediciones de tensión en bornes de la batería, corriente, temperatura de trabajo, tiempo de ensayo y densidad del electrolito.

En Argentina, actualmente no existen normas que regulen los ensayos para baterías solares, por lo que el GER ha propuesto un protocolo de ensayo (Vera y Cossoli, 2013). Este protocolo se obtuvo del análisis de las siguientes normas:

EN 61427:2005 – Acumuladores para sistemas de conversión fotovoltaicos de energía (PVES). Requisitos generales y método de ensayo -

Documento ANC-0603-11-01. Anteproyecto De Norma - Celdas Y Baterías Secundarias Para Sistemas De Energía Solar Fotovoltaica. Requisitos Generales Y Métodos De Ensayo. UPME, Bogotá (2003).

ANEXO DA PORTARIA INMETRO N° 004/ 2011. Requisitos De Avaliação Da Conformidade Para Sistemas e Equipamentos Para Energía Fotovoltaica (Módulo, Controlador De Carga, Inversor e Bateria)

IEC 61427 - Secondary cells and batteries for photovoltaic energy systems (PVES) – General requirements and methods of test.

IEC 60896-1, Stationary Lead-Acid Batteries – General Requirements and Methods of Test – Part 1: Vented Types.

Dicho protocolo se ha presentado a las autoridades del PERMER, y en él se encuentran detallados todos los ensayos y procedimientos para caracterizar las baterías de Pb-ac de tipo monoblock para uso solar. Dicho protocolo no ha sido adoptado por parte del comité técnico y en el pliego del PERMER solo especifica lo siguiente para el ensayo de baterías:

“Batería: Del total del suministro se seleccionará una muestra equivalente al 1% (uno por ciento). A cada batería seleccionada, se le realizarán los siguientes ensayos:
- Ensayo de descarga en 8 ó 10 horas”

Por lo expuesto este artículo evaluará, en primera instancia, la capacidad obtenida después de un ciclo de carga/descarga, como solicita el pliego, y después de la cantidad de ciclos de carga /descarga estipuladas en la Portaria 004/2011 del INMETRO.

2. SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN UTILIZADO

El sistema de caracterización fue desarrollado por el GER-UNNE (Cossoli y Vera, 2014) a partir del análisis de trabajos previos realizados por Carr (2004) y Vera (2010), con el objetivo de evaluar el desempeño y capacidades nominales de baterías monoblock de 12 V con capacidades que pueden alcanzar hasta los 220 Ah.

Con dicho sistema es posible realizar todos los ensayos descritos en la norma IEC 61427. La medición de tensión, corriente, temperatura y tiempo son realizadas de forma automática y la densidad del electrolito en forma manual. La Figura 1 presenta un diagrama de bloques del sistema desarrollado.

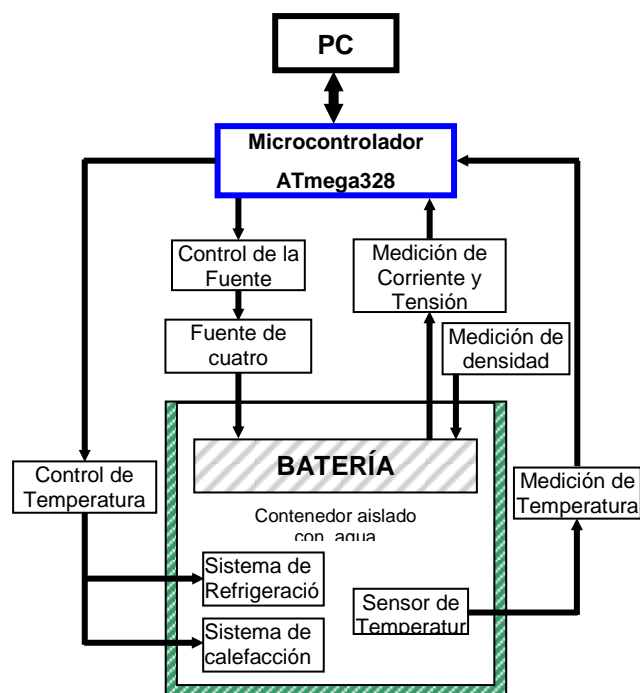


Figura1- Diagrama en bloques del sistema de ensayos utilizado en los ensayos.

El sistema se puede identificar por medio de tres bloques principales que lo conforman:

1) Baño termostatzado: constituido por un depósito aislado térmicamente donde se encuentran las baterías a ensayar, sumergidas parcialmente en un fluido de intercambio térmico. En este baño se incluyen dispositivos de calefacción y refrigeración así como un sistema de control de temperatura.

2) Sistema de suministro de energía: una fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y un módulo de control permiten realizar la carga y descarga de las baterías de manera automática.

3) Sistema de medición y almacenamiento de datos: la medición de los parámetros de interés (corriente, tensión, temperatura, tiempo y densidad) se realiza por medio de diferentes sensores. Los datos obtenidos son transmitidos a un ordenador para su almacenamiento, visualización en tiempo real y posterior análisis.

El ordenador ejecuta un software diseñado para controlar los parámetros de cada ensayo (límites de tensión, corriente de carga/descarga, temperatura de trabajo, etc.). Almacena y presenta en tiempo real las mediciones realizadas por cada sensor. Un microcontrolador ATmega328 es el vínculo entre el ordenador y los sensores.

En el trabajo de Cossoli y Vera (2014) se encuentran mayores detalles del sistema de caracterización de baterías utilizado así como la descripción detallada de cada una de sus partes.

2.1 Calibración

Antes de realizar los ensayos se realizó una calibración del sistema (Cossoli, 2013), donde se obtuvieron las incertezas mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del instrumental de medición

Descripción	Incerteza
Tensión	$\pm 0,2\%$
Corriente	$\pm 0,9\%$
Temperatura	$\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$
Tiempo	$\pm 0,1\%$
Densidad del electrolito	$\pm 0,5\text{ g/l}$
Temperatura del baño termostaticado	$\pm 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. METODOLOGÍA

Se realizaron los ensayos de capacidad sobre dos tipos de baterías que serán instaladas en 4 (cuatro) provincias, en 2000 viviendas, siguiendo la metodología especificada en la norma IEC 61427 así como las especificaciones solicitadas en el pliego de la LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL realizado por el cuerpo técnico del PERMER. La capacidad se determinó en el banco de ensayos para la caracterización de las baterías para usos solares presentado en el apartado anterior.

El procedimiento utilizado para determinar la capacidad y aceptado por el PERMER es el siguiente:

1. Ensayo de descarga en 10 o 20 horas, los ensayos de 10 h se realizan para baterías con capacidades menores a 100 Ah.

El ensayo mencionado se realizara para un régimen de descarga de 10 h o 20 h en un baño termostaticado de modo que quede estabilizada la temperatura del baño en $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. El nivel de agua contenida en el tanque estará a 25 mm abajo de la parte superior de la batería.

La batería se mantendrá dentro del baño durante un período mínimo de 10 horas, antes del inicio de la carga con el objetivo de unificar su temperatura (este tiempo es función del peso de la batería).

Se ajusta la corriente de carga con un valor numéricamente igual al cociente entre la capacidad de la batería dividido por el número de horas C10/10 h, C20/20 h.

Se ajusta la corriente de la fuente y monitorea la tensión en los terminales de la batería hasta que alcance el valor de 2,40 V por elemento (14,4 V para batería de 6 vasos).

Después de alcanzar la tensión mencionada se mantiene la carga en tensión constante durante 12 h o hasta que se establezca la toma de corriente.

Seguidamente se conecta la carga con el régimen de descarga igual al de carga, manteniendo la corriente constante hasta que la tensión alcance el valor final de descarga (1,75 V por vaso), en el momento que se alcance este valor la carga deberá ser desconectada.

Con el valor de horas de descarga se determina la capacidad de la batería; en caso de determinarse una capacidad menor al 5% de la capacidad nominal (a la tasa de descarga del ensayo) la batería no cumple los estándares mínimos y es rechazada.

En la Fig. 2 se presenta gráficamente las tensiones, corrientes y tiempos demandados para la realización de la metodología aceptada por el PERMER para la determinación de capacidad de baterías de Pb-ac tipo monoblock de 12V.

Para verificar que las baterías que fueron sometidas al procedimiento que estipula la norma IEC 61427 responden a un comportamiento promedio, se han ensayado y determinado la capacidad de 5 (cinco) baterías a ser utilizadas en 1417 instalaciones situadas en 2 (dos) provincias y la capacidad de 8(ocho) baterías que serán instaladas en 997 viviendas en otras 2 (dos) provincias. La determinación de capacidad se realizó utilizando la metodología del PERMER.

Para determinar la capacidad de las baterías según lo estipulado en la IEC 61427 y detallado en la Portaria nº 004/2011 del INMETRO se deben realizar 3 ciclos de carga/descarga completos de la batería y, luego, se procederá a realizar el ciclo con el cual se determinara la capacidad de la batería ensayada. La batería pasará el ensayo si su capacidad se encuentra encima del 95% de su capacidad nominal (al régimen de descarga del ensayo) y si se ha estabilizado la capacidad en relación a la capacidad determinada en el ensayo anterior. Como parámetro de norma se define que la variación entre el cuarto y tercer ciclo no sea mayor al 2%. Este margen esta también relacionado con las incertezas de los equipos de medición (Tab. 2), con los equipos utilizados en el sistema desarrollado esta variación de capacidad puede ser reducida.

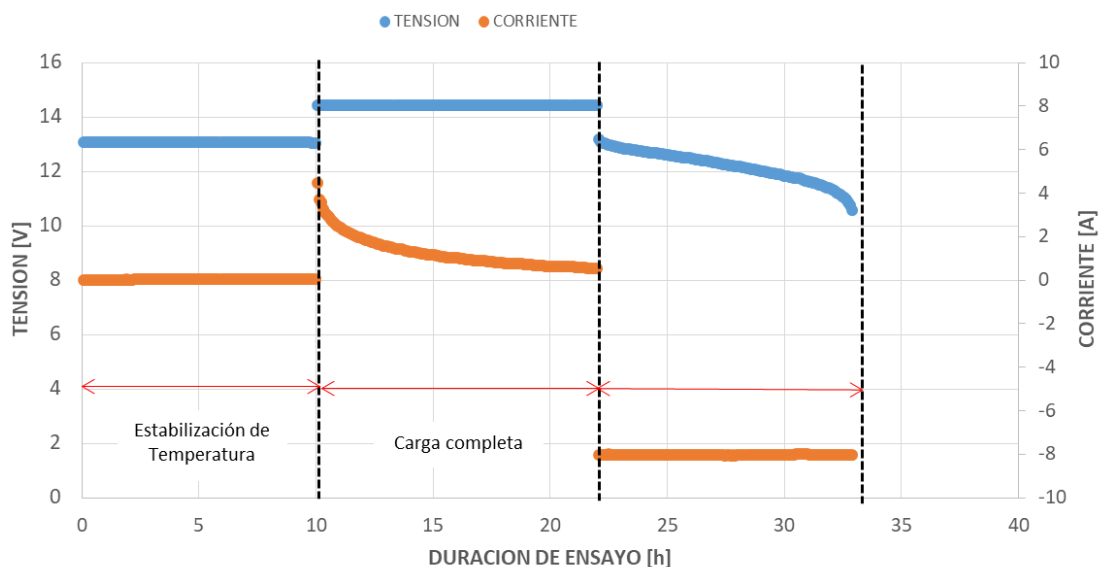


Figura 2 – Metodología de ensayo aceptado por el PERMER para determinar la capacidad de batería

Las pruebas se llevaron a cabo en las baterías de 2 (dos) marcas de acumuladores de fabricantes extranjeros. Las dos baterías ensayadas poseen diferente capacidad, sin embargo responden a sistemas fotovoltaicos autónomos de igual capacidad de generación, demanda y similares valores de irradiación anual. La batería denominada como A150 presenta una capacidad de 150 Ah para un tiempo de descarga de 20h, es importante destacar que el fabricante solo especifica su capacidad para un régimen de 20h, es por esa razón que se realizó el ensayo en el mismo régimen especificado por el fabricante.

La batería denominada como B80 presenta una capacidad de 80 Ah para un tiempo de descarga de 10h, En la Tab. 3 se presentan las características de los 2 (dos) tipos de baterías mencionadas.

Tabla 3- Características especificadas por los fabricantes para los 2 (dos) tipos de baterías utilizadas en 2000 viviendas del programa PERMER.

MODELO/ CODIGO	CAPACIDAD C10/C20 (Ah)	PESO (kg)	LONGITUD (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	TENSIÓN DE SOBRECARGA	TIPO DE TERMINALES
A150	NI/150	42	483	170	241	2,4V / 14,4V	Terminal 5/16
B80	80/85	25	272	172	206	2,4V / 14,4V	Roscado 5/16

4 RESULTADOS

Se ha realizado la prueba solicitada por el PERMER en 2(dos) lotes de baterías que han sido entregadas en 4 (cuatro) provincias. Se ha seleccionado un porcentaje de dichos lotes para determinar su capacidad. De cada lote se ha elegido una batería con un comportamiento promedio y, a estas, se les ha realizado también el ensayo especificado en la PORTARIA del INMETRO con el fin de verificar si hay diferencias entre la aplicación de uno u otro método.

En la Tab. 4 se presentan los resultados del ensayo de capacidad obtenidos en 5 (cinco) baterías A150 y en la Tab. 5 se presentan los resultados de 8 (ocho) baterías B80. Todos los ensayos realizados según método PERMER.

Tabla 4- Resultado obtenido en los ensayos de Capacidad para las 5 (cinco) baterías A150, método PERMER.

Número/ Código de batería	Capacidad Real (Ah) hasta 10,8V (1,8V / vaso) @ 25°C					
	Nominal (Ah) Especificada por fabricante (Ic ₂₀)	Capacidad Obtenida (Ah)	Calculo de incerteza (Ah)	Porcentual en relación al valor nominal (%)	Cálculo de Incerteza (%)	
1	A150	150	149,7	0,52	99,8	0,63
2	A150	150	161,1	0,52	107,4	0,63
3	A150	150	154,7	0,52	103,1	0,63
4	A150	150	153,3	0,52	102,2	0,63
5	A150	150	156,4	0,52	104,3	0,63

Tabla 5- Resultado obtenido en los ensayos de Capacidad para las 8 (ocho) baterías B80, método PERMER.

Número/ Código de batería	Capacidad Real (Ah) hasta 10,5V (1,75V /vaso) @ 25°C					
	Nominal (Ah) Especificada por fabricante (Ic ₁₀)	Obtenida y corregida con Temperatura (Ah)	Calculo de incerteza (Ah)	Porcentual en relación al valor nominal (%)	Cálculo de Incerteza (%)	
1	B80	80	88,5	0,52	110,7	0,63
2	B80	80	89,2	0,52	111,5	0,63
3	B80	80	87,2	0,52	109,0	0,63
4	B80	80	87,8	0,52	109,8	0,63
5	B80	80	76,0	0,52	95,0	0,63
6	B80	80	88,9	0,52	111,1	0,63
7	B80	80	81,4	0,52	101,8	0,63
8	B80	80	83,5	0,52	104,3	0,63

Se selecciona la batería número 3 de las Tab. 4 y 5, para seguidamente utilizarlas para realizar los ciclos de estabilización especificados por la norma. Procedimiento que se realizó para la determinación de la capacidad real de cada batería.

La Fig. 3 presenta los valores de tensión y corriente, a temperatura constante de $25\pm 1^\circ\text{C}$, para la etapa de estabilización realizada en el banco de ensayos desarrollado. Los resultados corresponden a un ensayo realizado sobre la batería 3/A150 a un régimen de descarga de C_{20} , régimen al que le corresponde una corriente de 7,5 A.

La línea azul y naranja, en la Fig. 3, muestran la evolución temporal de la tensión y la intensidad de corriente durante los ciclos de preparación, los cuales son realizados con el objetivo de estabilizar la capacidad de la batería. Las diferentes etapas que se pueden observar durante cada ciclo son: la etapa carga, la etapa de reposo y la etapa de descarga. El período de carga se lleva a cabo hasta que la tensión en los bornes de la batería alcanza el valor de 14,4 V y la etapa de descarga hasta que la tensión cae hasta el valor de 10,8 V. Ambos ciclos se realizan a corriente constante.

En la curva de corriente se observa que existen periodos de carga de la batería con una corriente constante de 7,5A, situación que se sostiene hasta alcanzar el valor de 14,4 V, punto en el cual el valor de la corriente desciende en forma logarítmica, manteniéndose el valor de la tensión constante durante 12 h. Este proceso tiene como objetivo llevar al valor del estado de carga de la batería (SOC, del inglés *state of charge*) los más próximo al 100%, evitando sobrecargas que pueden afectar a la batería (calentamiento y posible hidrólisis del agua del electrolito).

En el caso representado en la Fig. 3 los cuatro primeros ciclos de carga/descarga corresponden a la etapa de estabilización de la capacidad y los valores de corriente y tiempo, en la última descarga, se utilizan para la determinación de la capacidad real de la batería.

Es importante remarcar que se estabilizó la capacidad de la batería cuando la variación en la capacidad respecto al ciclo anterior, cuarto ciclo, no supera el 2%.

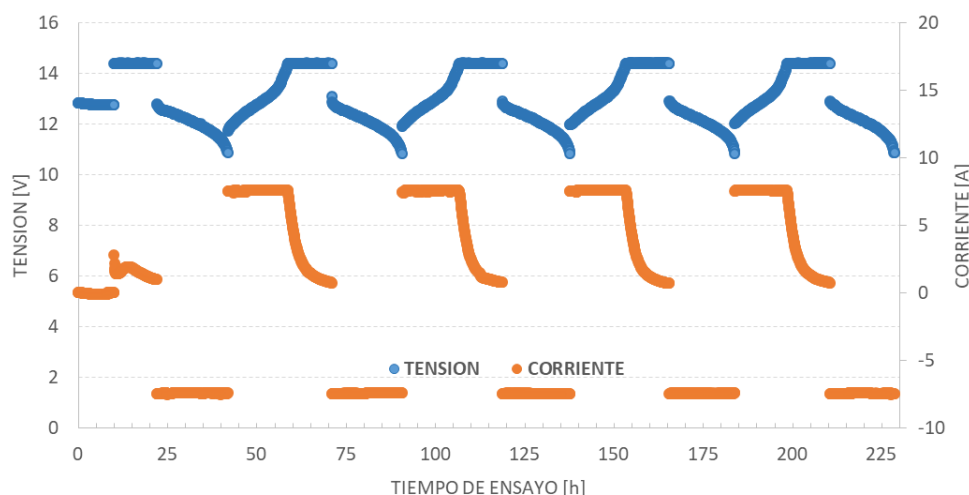


Figura 3. Valores de tensión y corriente durante la etapa de estabilización de una batería monobloque de 12 V y 150Ah de capacidad nominal.

La Fig. 4 presenta las curvas de descarga para los cinco primeros ciclos (después de la determinación inicial de capacidad) donde, cada 5 minutos, son medidos los valores de la tensión en los bornes de la batería 3/A150. En este proceso la batería es llevada a valores comprendidos entre 14,4 V y 10,8 V con el fin de realizar ciclos completos de carga y descarga. El análisis de las diferentes curvas y los valores medidos muestran que en el primer ciclo de descarga

la batería 3/A150 tenía una capacidad, en relación a la capacidad especificada por el fabricante, de 99,1% (148,7 Ah). En los sucesivos ciclos de descarga la capacidad fue disminuyendo hasta, en el quinto ciclo, alcanzar una capacidad del 90,5% (135,8 Ah). Además, como en el cuarto ciclo la variación de capacidad que existió fue mayor al 2%, respecto a la capacidad obtenida en el ensayo precedente, se procedió a realizar el quinto ciclo con el cual se calculó la capacidad final. En este ciclo su variación, respecto al anterior, fue menor al 2%. En la PORTARIA especifica cuatro ciclos, pero se llevó hasta el quinto ciclo debido a que no se estabilizó el valor de capacidad.

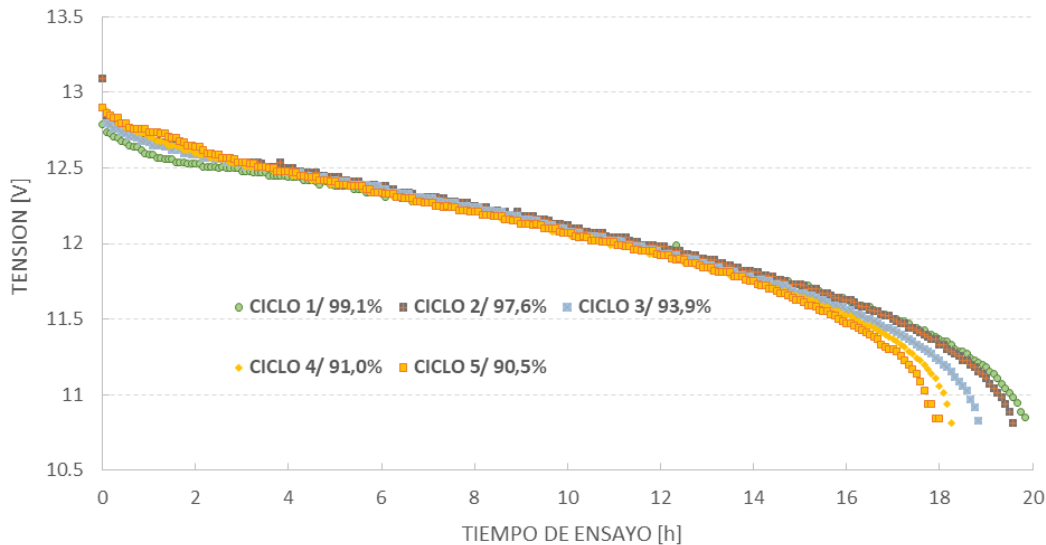


Figura 4. Valores de tensión y capacidad correspondientes a los cinco ciclos de descarga de la batería 3/A150.

Con los resultados obtenidos se concluye que la batería ensayada (batería 3/A150) no cumple con los requisitos establecidos por la norma, ya que no se estabilizó su capacidad en el cuarto ciclo de carga/descarga y que presentó una pérdida de capacidad del 8,6%. Además, si considero la capacidad obtenida en el primer ciclo (siguiendo las especificaciones del PERMER para el ensayo), la pérdida de capacidad es del 12,2 % en 6 ciclos.

La Figura 5 presenta las curvas de descarga para los cinco primeros ciclos donde, cada 5 minutos, son medidos los valores de la tensión en los bornes de la batería 3/B80. En este proceso la batería es llevada a valores comprendidos entre 14,4 V y 10,8 V con una corriente constante de 8 A. El ensayo se realizó a un régimen de descarga de C_{10} con el fin de realizar ciclos completos de carga y descarga. El análisis de las diferentes curvas y los valores medidos muestran que en el primer ciclo de descarga la batería 3/B80 tenía una capacidad, en relación a la capacidad especificada por el fabricante, de 112,3% (89,84Ah). En el segundo ciclo la capacidad disminuyó alcanzando un valor de 108,2% (86,54 Ah). En el ciclo siguiente la capacidad disminuyó alcanzando un valor de 107,9% (86,3 Ah) valor de capacidad que se mantuvo constante en el cuarto y quinto ciclo, es decir, no existió diferencia mayor al 0,5% respecto a la capacidad obtenida en el ensayo precedente.

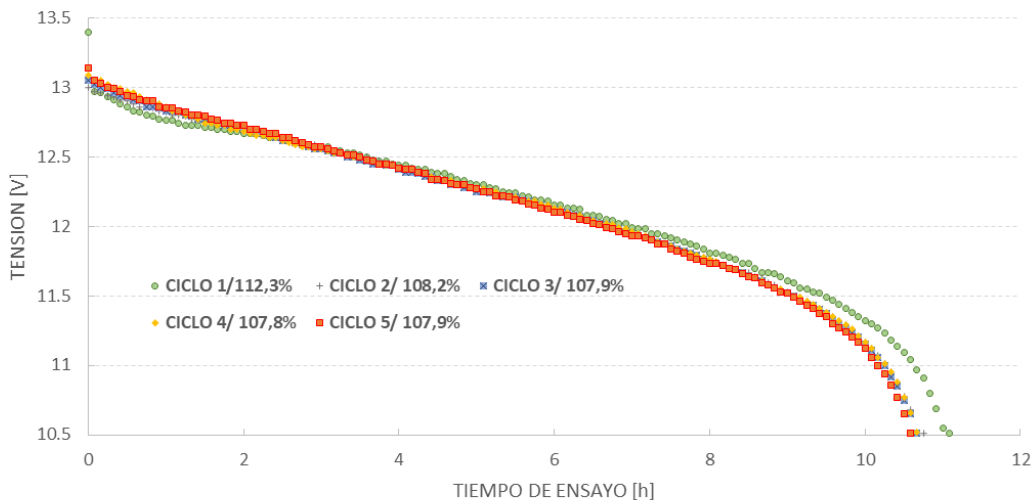


Figura 5. Valores de tensión y capacidad correspondientes a los cinco ciclos de descarga de la batería 3/B80.

Con los resultados obtenidos se concluye que la batería ensayada (batería 3/B80) cumple con los requisitos establecidos por la norma, estabilizando su capacidad en un valor 7,9% superior al especificado por el fabricante.

La Figura 6 muestra los valores de capacidad obtenidos durante los cinco ciclos de estabilización, donde se observa claramente que la batería 3/A150 presenta en este último ciclo una estabilización en su capacidad con un elevado porcentaje de pérdida de la misma. La batería 3/B80 muestra una tendencia a estabilizar el valor de capacidad a partir del segundo ciclo, permitiendo decir que presentará una menor disminución de capacidad en los siguientes ciclos, así como tiempo de vida útil, respecto a los valores que reflejará la batería 3A/150.

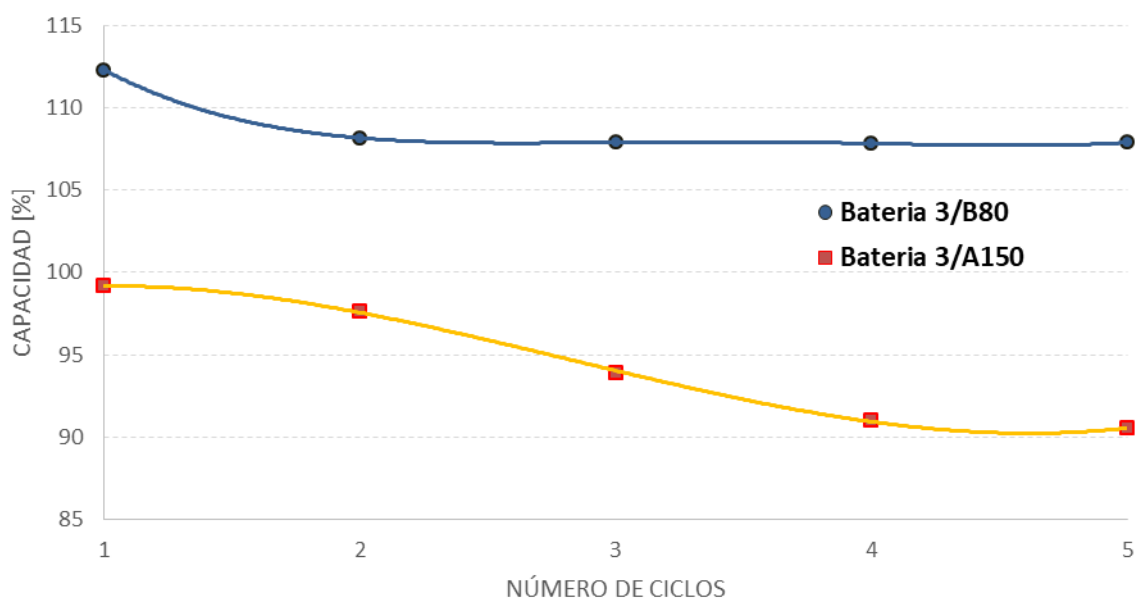


Figura 6- Valores de capacidad obtenidos durante los cinco ciclos de estabilización para la batería 3/A150 y la batería 3/B80.

5 CONCLUSIONES

El Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) está realizando nuevas licitaciones con el fin de llevar energía eléctrica a los habitantes de zonas rurales. En el pliego de dichas licitaciones no se ha especificado que el ensayo de las baterías deba seguir ninguna norma específica para determinar si su capacidad responde a las especificaciones del fabricante.

En este artículo se presentaron los ensayos de capacidad realizados en 2 (dos) tipos de baterías utilizados en los sistemas FV instalados por PERMER. La capacidad se midió siguiendo la metodología que se encuentra en la IEC 61427, así como en la Portaria 004/2011 del INMETRO, y la metodología propuesta al PERMER.

En una primera etapa se evaluaron cinco baterías de Pb-ac de gel con VRLA, 150Ah y 12V y ocho baterías de Pb-ac de gel con VRLA, 80Ah y 12V. Se determinó la capacidad de estas baterías utilizando el método adoptado por el PERMER; para el cual todas las baterías presentaron una capacidad superior al 95% de la especificada por los fabricantes. De este lote de baterías se seleccionó una de cada marca para seguir el ensayo con la metodología faltante.

Los resultados obtenidos han mostrado una gran diferencia en el comportamiento de una marca de baterías en relación a la otra. Una de las baterías no superó la primera prueba de conformidad especificados en la norma EN 61427 - 2005, mientras que la otra marca de baterías ha presentado resultados satisfactorios.

Con los resultados obtenidos se concluye que la batería 3/A150 no cumple con los requisitos establecidos por la norma, ya que no se estabilizó su capacidad en el cuarto ciclo de carga/descarga y que presentó una pérdida de capacidad del 8,6%. Mientras que la batería 3/B80 cumple con los requisitos establecidos por la norma, estabilizando su capacidad en un valor 7,9% superior al especificado por el fabricante.

Del análisis preliminar de las baterías se concluye que la batería 3/B80 debería brindar un mejor comportamiento y mayor vida útil en condiciones de operación, pero que es necesario continuar con otros ensayos, como ser los de envejecimiento acelerado, para constatar esta conclusión preliminar y realizar la caracterización completa de las baterías utilizadas en los SFA instalados por el PERMER.

Es importante destacar que los dos tipos de baterías pasan los ensayos solicitados por el PERMER, hecho que permite afirmar que los ensayos realizados según esta última metodología no son apropiados para evaluar la calidad de las baterías. De esta manera, sin importar la calidad de los acumuladores, el ensayo no normalizado llevado a cabo para los acumuladores permite que, casi cualquier batería pase los ensayos de recepción en detrimento de la confiabilidad del sistema fotovoltaico autónomo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Secretaria General de Ciencia y Técnica de la UNNE, Argentina, por proporcionar ayuda financiera prestada al proyecto de investigación: PI 023/2014. Los autores también desean agradecer el apoyo económico la Secretaría de Políticas Universitarias.

REFERENCIAS

- Bello C., Busso A., Vera L., Cadena C. .2010. Factores Que Afectan El Funcionamiento De Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas En Regiones Del Nordeste Argentino. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14.
- Bello C., Sánchez R., Cossoli P., Vera L., Busso A. 2012, Evaluación del Desempeño de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos en Zonas Rurales de la Provincia de Corrientes, Argentina. IV Congreso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, Brasil.
- Carr, A.J., Wilmot, N.A., Pryor, T.L. Battery Testing at ResLab. Solar 2004: Life the Universe and Renewables, Perth, Australia.
- Cossoli P, Vera L. H. 2014. TEST BENCH FOR THE CHARACTERIZATION OF BATTERIES FOR USE IN SAPS. Elsevier's Energy Procedia– ISSN: 1876-6102
- Cossoli P., 2013 Sistema de caracterización de acumuladores solares: Diseño, calibración y ensayo. Final Project for the Degree of Electronic Engineering. Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Universidad del Nordeste, Corrientes, Argentina.
- INDEC, Censo 2010. Resultados Previsionales. 2010.[en línea] Recuperado de <http://www.indec.gov.ar/>
- PERMER, 2017. Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales. <https://permer.se.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3403>
- REN 21 (2016). “Renewables 2016 - Global Status Report”, informe generado por REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx
- Vera L., Krenzinger A, Perda De Capacidade De Acumulação Em SFA: Método De Contagem De Eventos, 2010. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14.
- Vera, Luis Horacio, 2009. Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos. Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Vera, Luis Horacio; Cossoli, P., 2013. Protocolo de ensayo de baterías solares, Informe Técnico Interno. Grupe en Energías Renovables – UNNE, FaCENA, Corrientes, Argentina.
- Vera, Luis Horacio, KRENZINGER, A. Metodologia de Determinação da Perda de Capacidade de Sistemas de Acumulação em Sistemas Fotovoltaicos. 2009. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 13.
- Vera, Luis Horacio; KRENZINGER, A., 2007. Comportamento de baterias automotivas seladas sob diferentes condições de operação. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11.

CAPACITY OF VRLA SOLAR BATTERIES USED IN PERMER-ARGENTINA

Abstract. *In the Argentine Republic, the Project of Renewable Energies in Rural Markets (PERMER) has as main objective the supply of electricity to homes, health canterers and rural schools through the installation of Stand Alone Photovoltaic Systems (SFA). PERMER has already installed more than 25000 systems of this type. Currently, PERMER has carried out two new tenders in order to install 13770 photovoltaic systems in homes located in 11 provinces of the Argentine Republic. In this article we present the results of the capacity tests carried out on batteries that were installed in 4 (four) provinces. These tests have been carried out on 2 (two) types of batteries, which will be installed in 2000 homes, following the methodology specified in the IEC 61427 standard as well as the specifications requested in the NATIONAL PUBLIC BID document made by PERMER's technical group. The results obtained have shown a great difference in the behaviour of one brand in relation to the other. One of the batteries did not pass the first compliance test specified in EN 61427 - 2005, while the other battery brand has shown satisfactory results. However, both types of batteries pass the tests requested by the PERMER, a fact that allows affirm that the tests carried out according to this last methodology are not appropriate to evaluate the quality of the batteries. In this way, regardless of the quality of the accumulators, the non-standardized test carried out for the accumulators allows almost any battery to pass the reception tests, to the detriment of the reliability of the stand-alone photovoltaic system.*

Key words: Solar Energy, Stand Alone Photovoltaic Systems, Lead- ac Batteries.