

## SENSOR DE GASEO PARA BATERÍAS DE PLOMO – ÁCIDO ESTUDIO PRELIMINAR<sup>1</sup>

Carlos Cadena<sup>2</sup> Roberto Federico Farfán<sup>3</sup>,  
 Facultad de Ciencias Exactas Av. Bolivia 5150 SÁLTA  
 INENCO – UNSa – CONICET  
 cadenacinenco@gmail.com

**RESUMEN:** en el presente artículo se describe una metodología para determinar, durante el proceso de carga de un acumulador de plomo – ácido, (como los que se emplean en sistemas solares), si el dispositivo está gaseando o no. Este hecho, es particularmente singular en la curva de carga del acumulador, pues permite entre otras variables, inferir su estado de carga (SOC). El método requiere para su funcionamiento de un sistema electro-óptico, que consta de un par emisor-detector infrarrojo, y un espejo donde se produce la condensación de los gases que escapan del acumulador cuando comienza a “gasear”. Esto ocurre bajo determinados valores de corriente y temperatura, para una batería dada de capacidad C, y en mucha menor medida de otras variables, como ser la presión. El exceso de corriente o de temperatura provoca cuando es acentuado, una disminución de la eficiencia del acumulador y también de su expectativa de vida. Estas variables, están relacionadas con la tensión de celda.

**Palabras clave:** acumulador, gaseo, plomo – ácido, solar, sensor

### INTRODUCCIÓN

Las variaciones en la radiación y en la demanda eléctrica bajo condiciones de ausencia de la misma, requieren el uso de acumulación, en conjunto con los sistemas fotovoltaicos en general y con los híbridos en particular. Al igual que las celdas FV, los acumuladores son dispositivos de corriente continua y compatibles con las cargas del mismo tipo, pero no solo acumulan energía, sino que también en conjunto con otros dispositivos de acondicionamiento de potencia, mejoran la estabilidad de tensión del sistema en general. Sin embargo el generador fotovoltaico está diseñado para funcionar muy cerca de su punto de potencia óptima, mientras que la mayoría de las baterías no están diseñadas específicamente para los sistemas fotovoltaicos, y este hecho puede producir desacoples importantes. Muchas de las baterías usadas en los sistemas fotovoltaicos actuales, han sido diseñadas para su uso en ciclado profundo, como es el caso de los vehículos eléctricos. En estos casos la recarga es cuidadosamente controlada y completada para cada ciclo. Como contrapartida en los sistemas FV, la insuficiente recarga de la batería (provocadas en ciertos casos debido a las limitaciones de producción de electricidad fotovoltaica) o a los pobres resultados del control de carga en largos períodos de alta intensidad de radiación, pueden deteriorarla. Las baterías de plomo-ácido se utilizan sobre todo en sistemas integrados de energía fotovoltaica, donde el subsistema de control (PCS) procesa la electricidad de la red FV, y la batería hace que sea adecuado para carga corriente alterna (AC).

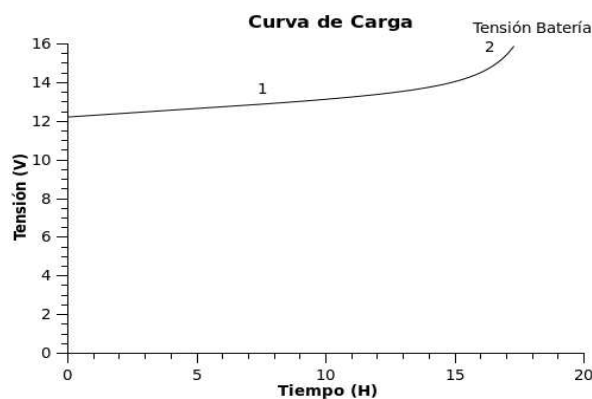


Figura 1. Curva de Carga de celda electroquímica a corriente y temperatura constante.

Por lo expuesto se puede inferir la importancia del sistema de control de carga, no solo para el correcto funcionamiento del sistema completo, sino también para el propio acumulador.

Se puede observar en la figura 1 que la curva de carga de un acumulador a corriente constante en función del tiempo, tiene dos regiones diferenciadas: la zona 1 de carga normal y la zona 2 denominada de sobrecarga, donde se produce el gaseo. Al ensayarse la carga de una batería, al aproximarse al final de la carga, la materia activa comienza a escasear y parte de la

1 Parcialmente financiado por CIUNSA  
 2 Profesional CONICET  
 3 Becario CONICET

corriente se emplea en descomponer el agua, O<sub>2</sub> en el polo positivo e H<sub>2</sub> en el polo negativo. Este fenómeno se conoce como gasificación o gaseo. En general se admite que cuando un acumulador comienza a gasear, si la temperatura y ese régimen de carga son los adecuados, el acumulador está cargado, ver ecuación 1.

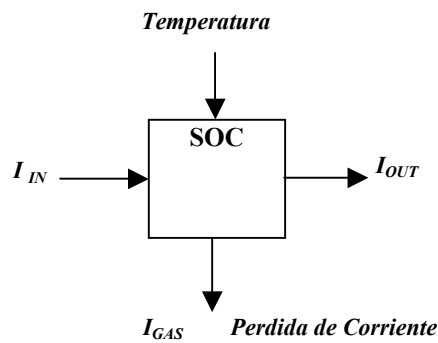


Figura 2: Variables empleadas para el balance del estado de carga.

Se puede decir, sin apartarse de la realidad, que el término  $I_{gas}$ , cuando se realiza un balance de los Ah entrantes y salientes del acumulador, representa las pérdidas del mismo, tal como se esquematiza en el diagrama de bloques de la figura 2, basado en un modelo del Instituto German Fraunhofer<sup>4</sup>. Este modelo, permite calcular el estado de carga, con la expresión:

$$SOC_{t+1} = SOC_t + \Sigma (I_{bat}(t) - I_{gas}) * \Delta t / C_{10} \quad (1)$$

Donde  $SOC_{t+1}$  y  $SOC_t$  son los estados de carga para los tiempos  $t$  y  $t+1$ , y  $\Delta t$  el intervalo de tiempo considerado y corresponde a regímenes de carga de diez horas.

Durante el período de carga, la tensión de la batería en el codo de la figura 1, está dado por la ecuación 3, mientras que la tensión final de carga por la ecuación 2.

$$V_{fc} = [2,45 + 2,011 \ln(1 + I / C_{10})] (1 - 0,002 \Delta T) \quad (2)^4$$

$$V_{gas} = \{2,24 + 1,97 \ln(1 + I / C_{10})\} (1 - 0,002 \Delta T) \quad (3)^4$$

El gaseo depende del régimen de carga y también en forma proporcional con la temperatura, tal como puede observarse en la figura 3.

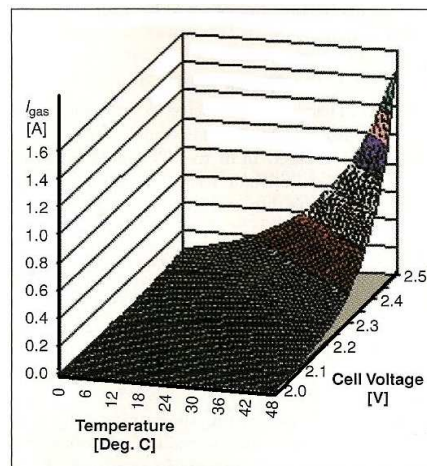


Figura 3. Corriente de Gaseo de una celda electroquímica en función del voltaje de celda y la temperatura.

#### METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada para la detección del gaseo consistió en realizar distintas cargas a una batería de plomo ácido a corriente constante. En los distintos procesos se midió por medio de un sistema de toma de datos: tensión de bornes de una batería, corriente que ingresa al acumulador, temperatura ambiente, temperatura de electrolito y la señal entregada por el sensor de gaseo. Los ensayos de la batería se simularon por medio de las ecuaciones de carga y gaseo de Coppeti [Coppeti, 1993] y se compararon los resultados obtenidos de la simulación con los que detectó el sensor.

<sup>4</sup> Coppeti, J.B. SYSTEM DESIGN HANDBOOK MAC DONALD COLLEGE OF MCGILL UNIVERSITY QUEBEC CANADA



Figura 4. Ensayo de carga de una batería de plomo ácido.

Para los ensayos, tal como puede observarse en la figura 4, se utilizaron dos fuentes de laboratorio conectadas en paralelo. Cada fuente entrega una corriente máxima de 5A, por lo tanto se contó para los ensayos con una corriente máxima de carga de 10A. Los bornes positivos de ambas fuentes utilizadas, se conectaron por medio de un MBR3045PT adosado a un disipador. Este dispositivo se compone de dos diodos Schottky conectados por el cátodo, por el que pueden circular un total de 30A y su implementación asegura que la corriente que entrega cada fuente ingresa a la batería. En la figura cuatro también se observa la computadora que maneja el sistema toma de datos, la placa con los ADC y una de las baterías ensayadas.

#### SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema adquisición de datos se compone principalmente por cuatro ADC0832 serie de ocho bits manejados por una computadora por medio del puerto paralelo. El ADC0832 es un convertor de dos canales, de manera que el sistema consta de ocho entradas de ocho bits. El circuito realizado para el manejo de los cuatro ADC requiere de cuatro señales del puerto paralelo por cada convertor, tres de las cuales permiten la configuración de cada canal (se utilizan para el clock, señal de inicio de la conversión y elección del canal) y la última recibe en forma serial los bits de la conversión. Debido a que se manejan cuatro ADC, se utilizaron los tres registros del puerto paralelo, el DATAPORT y el CONTROLPORT para la configuración de los distintos canales de los cuatro ADC, y el STATUSPORT para recibir las señales de cada conversión. En la figura 5 se observa entre otras cosas, que se mencionan en la propia imagen, la placa de adquisición de datos que se utilizó.

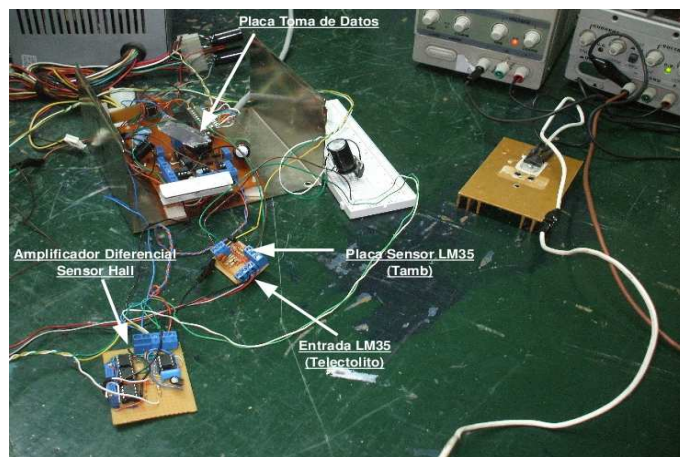


Figura 5. Placa de adquisición de datos.

Para este sistema se diseñó un programa realizado en lenguaje C manejado por un sistema operativo LINUX, que permite sincronizar la conversión de cada uno de los canales, convertir la señal digital en la magnitud analógica que se está midiendo, guardar esta información en distintos archivos y por medio de tuberías, redireccionar el contenido de los archivos como entradas al programa denominado GNUPLOT para mostrar la información medida en la pantalla. Una característica importante del programa es el promedio que realiza por cada medida realizada, ya permite achicar el error de la medición y elevar las performance del dispositivo.

Para tomar la temperatura ambiente se utilizó un sensor LM35 conectado a un amplificador, como se observa en la figura 5. La salida del amplificador se conecta a una de las entradas de los ADC para que el programa guarde la información. La temperatura del electrolito también se midió por medio de un LM35 encerrado en un tubo de vidrio pequeño, rodeado de una grasa conductora. Esta señal se amplificó y se conectó al sistema de toma de datos. La corriente se midió por medio de un



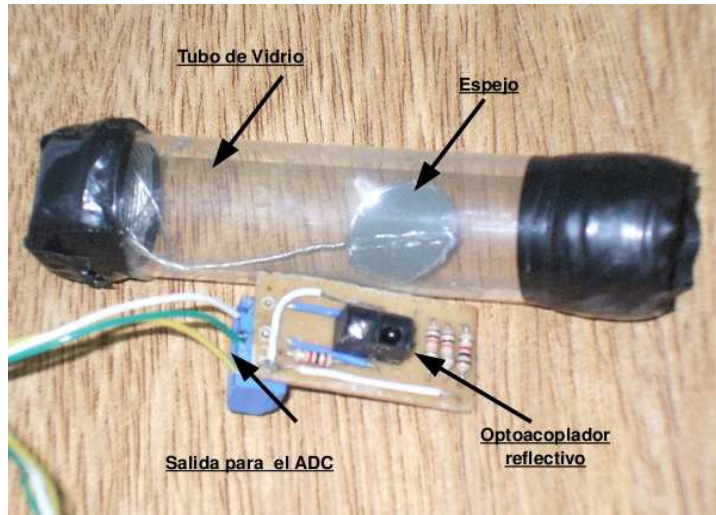


Figura 8. Foto del sensor utilizado para la detección del gaseo.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Los ensayos se realizaron bajo distintos regímenes de carga, midiéndose tensión de bornes de la batería, temperatura ambiente, temperatura de electrolito, corriente de carga y señal del optoacoplador reflectivo. El acumulador ensayado es una Batería Estacionaria de la marca AUTOBAT de 100Ah, modelo 5 BTX 120 de 12V.

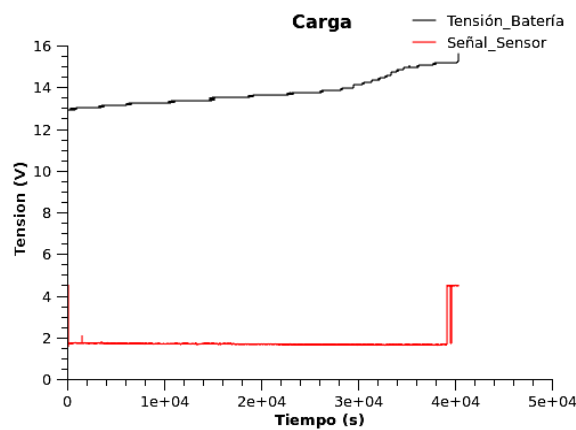


Figura 9. Tensión de carga a corriente constante de 8A y señal del sensor.

En la figura 9 se observa la evolución de la tensión de bornes de la batería y la señal del optoacoplador. La señal roja es la que entrega el optoacoplador y muestra el momento que el sensor detecta el gaseo en la carga de la batería, observándose esta por medio de una señal alta, (nivel lógico alto).

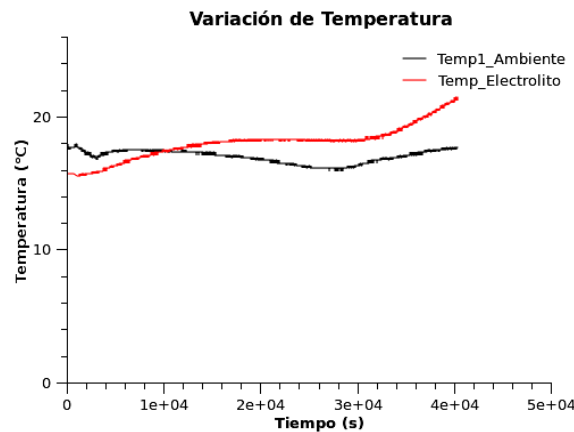


Figura 10. Variación de Temperatura en el proceso de carga por medio de una Corriente de 8A.

En los ensayos se analizó el comportamiento de la temperatura del electrolito, con respecto a la ambiente. Se puede observar que ambas temperaturas tienen comportamientos similares, la temperatura del electrolito no se dispara, por el contrario: durante el proceso de carga mantienen una diferencia de 2°C aproximadamente. La variación total de la temperatura en el proceso de carga es de 5°C, lo cual es importante, debido a que las simulaciones con las cuales se compararan se realizan a temperatura constante, tal como puede observarse en la figura 10.

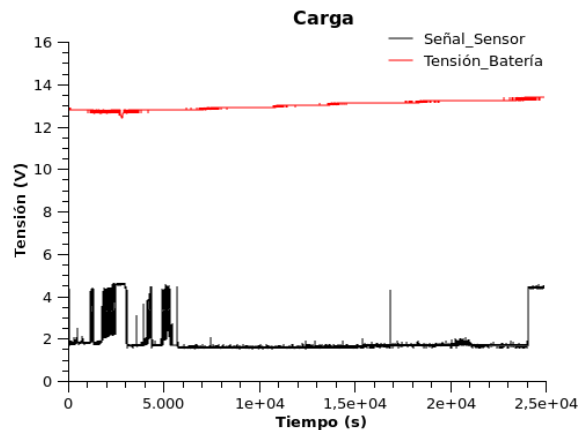


Figura 11. Tensión de carga a corriente constante de 7A y señal del sensor.

En la figura 11, se observa nuevamente la evolución de la tensión de bornes de la batería y la señal del sensor. La señal de disparo que se observa al inicio de la carga, corresponde a los distintos ajustes que se realizaron en el sensor. Al final se observa el disparo de la señal, quedando en el archivo de toma de datos el momento que gasea la batería en carga. Las temperaturas ambiente y del electrolito permanecieron más uniformes, con una diferencia solo de 2°C entre ambas y en todo el proceso.

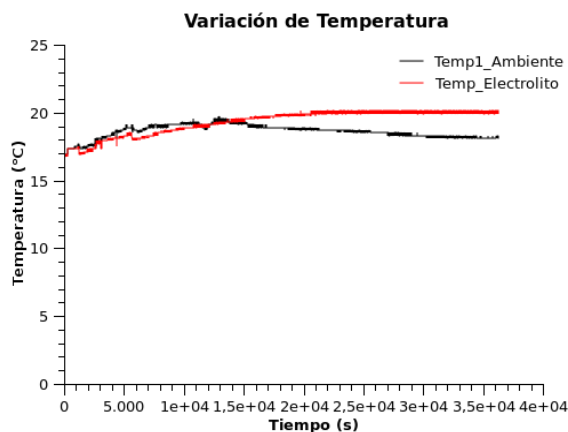


Figura 12. Variación de Temperatura en el proceso de carga por medio de una Corriente de 7A.

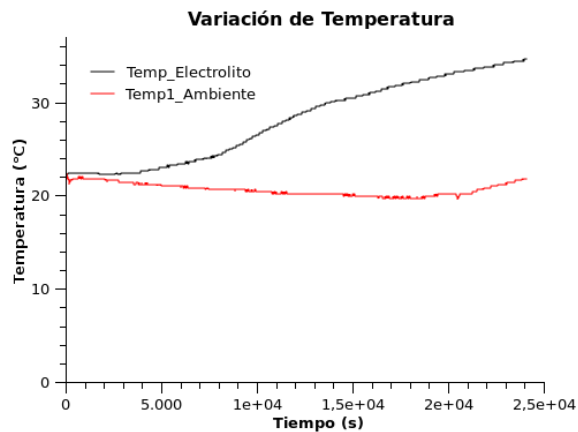


Figura 13. Variación de Temperatura en el proceso de carga por medio de una Corriente de 9A.



Se observa que a medida que crece la corriente de carga utilizada en los ensayos, crecen las diferencias entre la temperatura ambiente y la temperatura del electrolito (figura 12), lo cual no es lo que se busca en este tipo de estudio. Mantener constante las diferentes variables de las que depende el fenómeno del gaseo, permite estudiar con mayor objetividad la señal arrojada por el sensor. Es por ello que las corrientes de carga de los ensayos se realizaron con corrientes menores a los 8A, ya que la variación de temperatura para corrientes mayores a esta es elevada, como se observa en la carga a corriente constante de 9A en la figura 13.

## SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN

Las medidas obtenidas de los distintos ensayos de carga se compararon con simulaciones que se basaron en las ecuaciones de Coppetti. En la simulaciones planteadas se determina el momento del inicio del gaseo en la intersección de la curva de tensión de carga y la tensión de gaseo. Al comparar los resultados se observó que el sensor detecta el gaseo de la batería en momentos cercanos al representado por las ecuaciones de Coppetti, como se observa en la figura 14. El sensor en algunos ensayos detectó el gaseo antes de lo que predecía la simulación, pero también se midió el gaseo en momentos posteriores. Estas diferencias se encuentran en el orden de los minutos y puede deberse principalmente a la variación de temperatura que sufre el ambiente y el electrolito en el proceso de carga, recordando que las simulaciones que se realizan por medio de las ecuaciones de Coppetti son a temperatura constante.

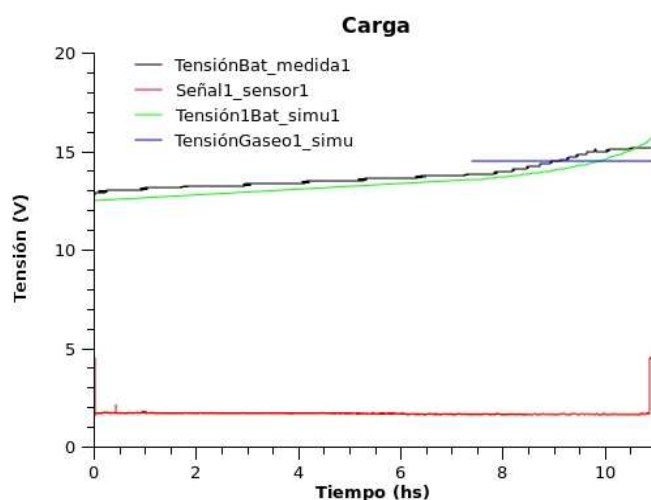


Figura 14. Simulaciones y medidas de un ensayo de carga.

En la figura 14 se simuló el ensayo de carga realizado a corriente constante de 8A, utilizando las medidas de la densidad del electrolito para determinar el estado de carga inicial ( $SOC_{inicial}$ ). En este ensayo inicialmente se midió la densidad del electrolito  $1172 \text{ Kg/m}^3$ , determinándose que el estado inicial de carga 0.5. Al finalizar el ensayo la densidad alcanzó  $1250 \text{ Kg/m}^3$  y se observa en la figura la proximidad de la simulación y los datos medidos.

## CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de sensor de gases para un acumulador de plomo - ácido, y el mismo fue ensayado bajo diferentes condiciones de corriente constante, pero en regímenes relativamente bajos, y tratando que la temperatura ambiente no cambie, esto es manteniendo la temperatura de laboratorio aproximadamente constante. Se efectuó la simulación y se observó que ajusta con el comportamiento predicho por la ecuación de Coppetti, con un margen que a priori, parece aceptable. Con los ensayos realizados se obtuvo información del comportamiento de la temperatura del electrolito, la temperatura ambiente y la señal emitida por un sensor como consecuencia del gaseo. La información obtenida permite realizar un buen estudio del comportamiento de las baterías de plomo ácido y comparar el comportamiento de éstas con los modelos de batería planteados en la bibliografía.

En un trabajo futuro se debe ensayar y simular el prototipo bajo diferentes condiciones de carga ya sea en regímenes más elevados, o bien del tipo  $C_{100}$ , en otros valores de temperatura controlada en una cámara de ensayos y con otras baterías de plomo - ácido.

## BIBLIOGRAFÍA

U.S. Department of Energy, 1995, Photovoltaic Fundamentals, DOE/CH10093-117-Rev.1.

"PV Balance of System Brief #3," Sandia National Laboratories, October, 1993, World Wide Web,

[http://www.sandia.gov/Renewable\\_Energy/PV\\_Now/BOS/brief3.html](http://www.sandia.gov/Renewable_Energy/PV_Now/BOS/brief3.html).

Linden, D. 1995, Handbook of Batteries and Fuel Cells, 2nd Edition, Mc-Graw-Hill, New York, NY.

"PV31 Photovoltaic Dispatchable Battery Energy Storage System," AC Battery Corporation, East Troy, WI: Undated. Report PV TDS1095.

Akhil, A.A., L. Lachenmeyer, S.J. Jabbour, and H.K. Clark, Specific Systems Studies of Storage for Electric Utilities, Sandia National Laboratories: August 1993. Report SAND93-1754.

Butler, P.C., Battery Energy Storage for Utility Applications: Phase I - Opportunities Analysis, Sandia National Laboratories: November 1995. Report SAND95-2605.

Battery Energy Storage Market Feasibility Study, Frost & Sullivan: July 1997. Report SAND97-1275. Web Case Studies, Solar Energy Industries Association, World Wide Web, <http://www.seia.org/>.

Perez, R. 1994, et.al., "Providing Firm Peak Load Reduction with PVs: Operational Results of the NMPC PV+Buffer Storage Prototype," Proceedings of at the American Solar Energy Society Conference, San Jose.

Nigro, R. 1997, "Opportunities for Battery Storage: Results of the PV BONUS Program," presented at Energy Storage Association meeting.

Salt River 1997 Project Residential Photovoltaic-Battery Energy Storage System Project, Electric Power Research Institute. Report TC3779-003.

Perez, R. 1997, "Grid-Connected Photovoltaic Power," presented at the Energy Storage Association meeting.

Copetti JB, Chenlo F, Lorenzo E.(1993) A general battery model for PV system simulation. Progress in Photovoltaics: Research and Applications; 1: 283–292.

B.Maxeiner, 1997, "Investigation of a battery model to calculate state of charge of lead acid batteries.

---

i

**ABSTRACT:** The present paper reports the methodology for determining, during loading (accumulator lead – acid, such as those used in solar systems), if the device is gassed or not. This fact is particularly important in the battery load's curve, allowing among other variables, infer their state of charge (SOC). The method requires for its operation of an electro-optical system, which consists of a pair infrared emitter-detector and a mirror, where the condensation of gases escaping from the cell when it begins to "gassing." This occurs under certain values of current and temperature for a given battery capacity C, and to a much lesser extent on other variables, such as pressure. The excess current or temperature when it is very great, causes a decrease in the efficiency of the battery and its life expectancy.. These variables are related to cell voltage.

**Key Words:** battery, gassing, lead - acid, solar, sensor.