

ENVEJECIMIENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA EN LA PROVINCIA DE CATAMARCA

R. Herrera y C. Rodriguez
Subsecretaría de Ciencia y Tecnología
República 838 - C.P. 4700 - Catamarca
Email : sucytca@seambiente.gov.ar

A. Iriarte¹
INENCO – Catamarca
Fac. de Ciencias Agrarias – UNCa
M. Quiroga 93 – C.P. 4700 – Catamarca
Email : iriarte@plab.unca.edu.ar

A. Fabris
Ituzaingo 550 - Capital Federal
Email: aldofabris@ciudad.com.ar

RESUMEN - El presente trabajo describe el comportamiento de los módulos fotovoltaicos instalados en el marco del convenio Argentino - Alemán de bombeo fotovoltaico en siete plantas de la Provincia de Catamarca. Se describe la metodología seguida para la determinación de su funcionamiento, teniendo en cuenta los principales inconvenientes que se presentaron en el curso de los nueve años de instalados los sistemas. Para las mediciones se adoptó un criterio de seguimiento que atiende fundamentalmente a la identificación de los módulos que presentan mayor deterioro, teniendo en cuenta que los mismos son los que producen la pérdida de eficiencia del conjunto y del sistema. Se propone una metodología de medición de bajos costo que permite evaluar el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y certificar su comportamiento para que los proveedores de los mismos restablezcan las condiciones operativas ante situaciones de deterioro.

Palabras clave: módulos fotovoltaicos, deterioro, Bombeo, Catamarca.

INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Catamarca, en el período 1991 a 1993 se instalaron siete plantas de bombeo de agua utilizando la generación fotovoltaica en el marco de un Convenio de Cooperación Técnica y de Cooperación para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico, firmado entre los Gobiernos de la República Argentina y la República Federal de Alemania.

El Programa Argentino - Alemán de bombeo fotovoltaico tuvo como uno de sus objetivos difundir los resultados y experiencias del programa. En este sentido se han publicado por parte de la Argentina varios trabajos, pero en el presente resulta importante hacer referencia principalmente a las dificultades que se presentaron. Una dificultad importante es la falta de presupuesto para un seguimiento programado a largo plazo. También es necesario destacar la falta de definición de la vida útil de las partes del sistema de bombeo, de una política de recupero y reinversión.

En los primeros cuatro años, existió un seguimiento de los sistemas con registros mensuales numerosos parámetros de funcionamiento, que permitieron determinar una progresiva pérdida de eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Una vez establecida esta situación, se gestionó y obtuvo el cambio de la totalidad de los paneles instalados en la primera etapa, tres de las siete plantas de bombeo de Catamarca. También ocurrió lo propio en la Provincia de La Rioja, que junto con Catamarca fueron seleccionadas para la promoción de los sistemas. En este sentido es conveniente aclarar que el fabricante (AEG) argumentó que la pérdida de eficiencia se debía a la calidad del vidrio utilizado en ese lote y que con los otros paneles, de la segunda etapa, no se presentarían problemas. Sin embargo, desde el año 1995 y hasta el presente año 2000, los cuatro sistemas de bombeo instalados en la segunda etapa, así como los sustituidos en la primera, tienen una pérdida de eficiencia significativa que hace que algunas plantas hayan disminuido el caudal de bombeo a la mitad.

El presente trabajo muestra la situación de las plantas, así como la metodología que se ha seguido para evaluar tal condición.

INSTALACIONES DE BOMBEO Y SISTEMAS DE MEDICIÓN

**Características de los sistemas*

Los sistemas instalados tienen entre dos y cuatro conjuntos de ocho paneles conectados en serie y en paralelo entre sí. Alimentan el inversor de corriente continua a corriente alterna trifásica que energiza la electro - bomba sumergida.

¹ Investigador del CONICET

Los paneles utilizados son de marca AEG, modelo PQ 10/40 HRD 50 y PQ 40/50 D de tensión 18,6 V y potencia de 50 W pico. Estos paneles de 40 celdas de 0,10 x 0,10 m de silicio policristalino, fueron suministrado como parte de la transferencia del Gobierno Alemán, así como el resto de los materiales y equipos. Los paneles están orientados hacia el norte con una inclinación de 30° respecto de la horizontal.

El inversor es un GRUNDFOS de 1500 W nominal y de frecuencia variable según la potencia que suministra el generador fotovoltaico. Este inversor tiene una eficiencia de conversión superior al 90 % en todo el rango de trabajo con seguimiento del punto de máxima potencia del generador. La salida está protegida ante cortocircuitos y por bloqueo o embalado del motor-bomba, también controla automáticamente el arranque y parada del mismo según la tensión y corriente de generación. El motor sumergible está directamente acoplado a la bomba de modo que forman una sola unidad. Las partes principales del motor - bomba son de acero inoxidable. La bomba es del tipo centrífuga de varias etapas.

** Metodología seguida en las determinaciones sobre paneles*

En lo que hace al sistema de seguimiento del funcionamiento empleado se destacan dos metodologías distintas: a) un sistema de adquisición de datos (SAD) programable que permitió la lectura y registro de sensores; b) una técnica de control de paneles que permite evaluar el deterioro individual de los mismos. Estas formas de seguimiento se realizaron en forma secuencial y no simultánea debido a lo costoso que significaba continuar con mediciones mensuales, que implicaba viajes para la lectura del SAD. Por otro lado ya se evidenciaba que los problemas de las plantas se relacionan fundamentalmente con el envejecimiento de los módulos.

El SAD mide y registra, en forma independiente del sistema de bombeo propiamente, los valores de radiación, corriente y tensión de la totalidad de los conjuntos, columna de agua en cañerías, caudal bombeado y de consumo. Mensualmente se toma una lectura de la estación instalada en la planta, mediante una computadora portátil y con un programa específico.

El procedimiento de medición para paneles, consiste en controlar las plantas en dos ocasiones en el año, una en invierno y otra en verano en días despejados y horarios próximos al medio día solar. Se mide en primera instancia las características de generación de la totalidad de los conjuntos y luego cada conjunto de módulos conectado al inversor. En estas mediciones se determina la corriente de corto circuito, la tensión de circuito abierto, la corriente y tensión bajo carga, esto es con el inversor conectado. Cabe aclarar que en la totalidad de las plantas el motor bomba funciona y se produce bombeo de agua con sólo un conjunto.

De la medición de cada conjunto y de la comparación con valores obtenidos anteriormente, ya se puede notar si hay una discrepancia en el valor de la corriente de carga. En este caso se procede a medir la tensión de cada módulo de la serie en la condición de carga, es decir con el inversor alimentando el motor bomba. Esta es la forma en que se evidencia el mal funcionamiento de los módulos, ya que las mediciones de corriente de corto circuito y de tensión de circuito abierto pueden arrojar valores en el orden de los normales para la condición de radiación y temperatura de celda. Sin embargo, es justamente en la condición normal de carga cuando el panel demuestra el deterioro.

Una vez determinado el mal funcionamiento de módulos (los que tienen valores significativamente menores que los otros del conjunto) se los mide en el banco de prueba para establecer la curva de generación. Este consiste sencillamente en una resistencia de *nichrome*, aislada del ambiente mediante una caja metálica. Se toman de distintos sectores para cargar al panel (resistencia variable) y de este modo determinar la corriente y tensión que generan la curva del panel para una dada condición de radiación y temperatura.

Para evidenciar el grado de deterioro se mide en idénticas condiciones de radiación y temperatura de celda, un panel de referencia (sin uso y de la misma marca y modelo). Por otro lado para evaluar el efecto con mayor profundidad se realiza mediciones para distintos valores de radiación sobre los paneles de la planta y en el de referencia.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las mediciones realizadas con los SAD en el período 1991 a 1995, no permitieron identificar los diferentes grado de deterioro que se evidenciaban en los módulos, ya que miden la corriente y tensión de todos los conjuntos, enmascarando la gran divergencia que se observa en los módulos de las series.

El sistema de medición que se implementó desde 1995 a la fecha, tiene como objetivo individualizar esos problemas de módulos, seguir su evolución en el tiempo y tomar la decisión de cambiarlos según se presenten los defectos, permitiendo conservar la performance inicial de instalación.

En la figura 1 se muestra las curvas tensión corriente de dos módulos retirados de plantas de bombeo y de un panel de referencia del mismo tipo. Se observa como para un valor de radiación de 710 W m⁻² los paneles retirados se alejan de la curva del panel sin uso; este envejecimiento del panel retirado es principalmente en la situación de carga y no en los extremos de circuito abierto o corto circuito.

En la figura 2 se muestran las curvas de un panel retirado de una planta de bombeo y de un panel de referencia para dos valores de radiación. Se nota que para una radiación de 470 W m⁻² la diferencia entre ambos paneles no es muy significativa; una situación totalmente distinta se observa cuando aumenta la radiación (y la temperatura de celda) a 940 W m⁻² donde el panel retirado tiene una curva por debajo de la anterior situación.

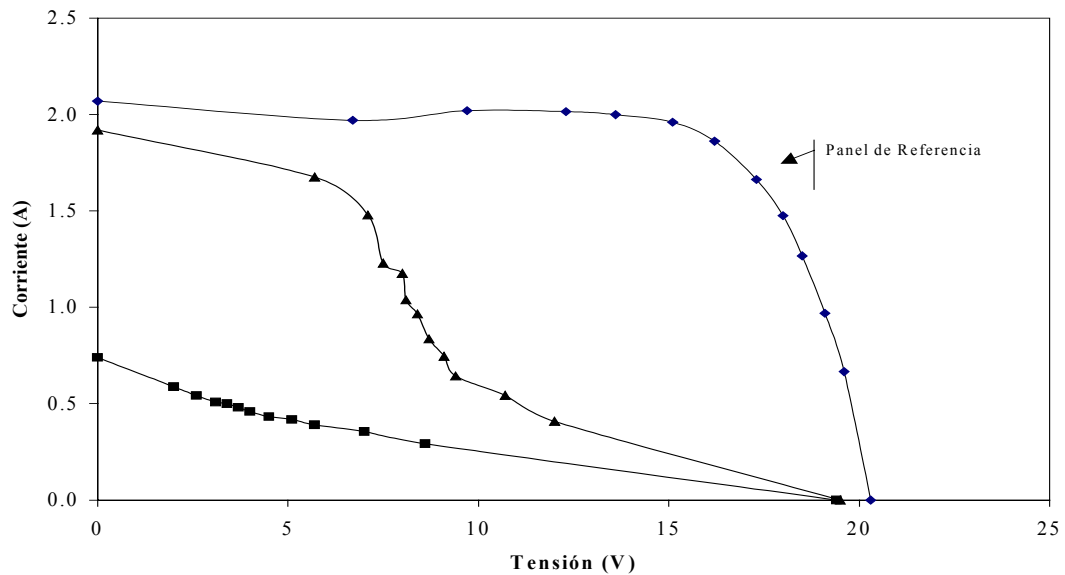


Fig. 1. Curvas tensión - corriente para dos paneles retirados de plantas de bombeo con respecto a uno de referencia.

El grado de deterioro o envejecimiento de los distintos paneles no es uniforme, por lo que en las figuras se muestran situaciones típicas. Pero existen paneles en que se desprenden los puntos de circuito abierto y cortocircuito, aproximándose al origen y llegando en algunos casos a un cortocircuito franco.

Luego de 1995 se atendió fundamentalmente al control de los paneles. En la planilla de mediciones 1 y 2, se muestra el procedimiento empleado para evidenciar el comportamiento de los módulos. Por otro lado, como existe una correlación entre la radiación y el agua bombeada (Herrera *et al.*, 1999), es suficiente para determinar otros desvíos de la condición normal de funcionamiento, un registro de radiación y agua bombeada.

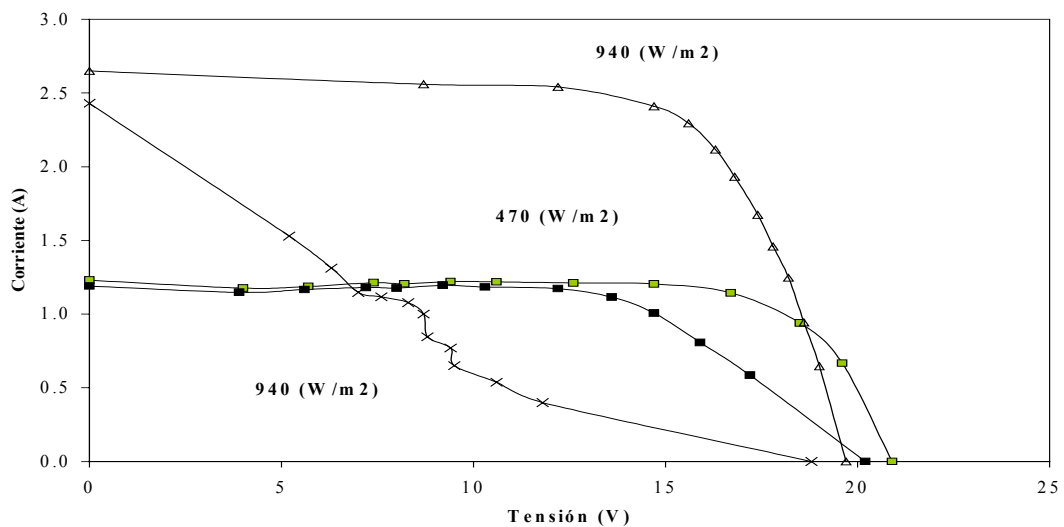


Fig. 2. Curvas tensión - corriente de un panel retirado de la planta de bombeo con respecto a uno de referencia, para dos valores de radiación distinta.

A cuatro años de funcionamiento de la planta de La Horqueta, planilla 1, ya se advierte la diferencia entre paneles, en forma semejante a lo ocurrido con los sistemas de la primera etapa. En el primer cuadro se presentan los valores de tensión de circuito abierto, corriente de cortocircuito, tensión de carga y corriente de carga para todos y cada conjunto por separado. Se nota una diferencia de un 30 % en la corriente de carga del conjunto 1 respecto del conjunto 2.

En el segundo cuadro se presentan los valores de tensión de cada módulo en condición de carga. Se destacan algunos paneles por su tensión alejada del resto del conjunto. El resto de los paneles salen de su punto de máxima potencia para suplir el defecto de tensión del o los paneles deteriorados y así alimentar al inversor. En el mismo cuadro se agregó una determinación realizada un año antes, donde ya se aprecian que los paneles tienen un defecto en el valor de la tensión (segunda y decimotercera línea).

PLANILLA DE MEDICIONES - 1

LUGAR: LA HORQUETA

FECHA: 10/12/1997

ESTADO DEL CIELO: **Despejado**

Hora Inicio de mediciones: 12 hs

Temperatura ambiente: 33 °C

Temperatura de celda: 52 °C

Radiación: 980 Wm⁻² - se mantiene durante el proceso de medición

Sistema de generación formado por dos conjuntos en paralelo, de siete módulos en serie cada conjunto.

	TODOS CONECTADOS	SOLO CONJUNTO 1 CONECTADO	SOLO CONJUNTO 2 CONECTADO
Tensión de circuito abierto – V	145	144.3	142.1
Corriente de corto circuito – A	5.39	2.69	2.64
Tensión de carga - V	103.7	103.7	102
Corriente de carga – A	4.25	2.41	1.67

Medición de la tensión en carga de cada panel en voltios.

Conexiones			Referencia (Oct/96)*	
Todos	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto1	Conjunto 2
14.7	15.1		15.3	
13.1	14		14.5	
14.8	15.2		15.7	
15.5	15.9		16.1	
14.8	15.3		15.8	
14.6	15.2		15.8	
15.3	15.8		15.9	
17.1		17.3		15.8
16.9		17		15.9
17.5		17.5		15.8
16.5		16.4		15.8
17.5		17.7		16.8
0.09		0.04		12.7
16.5		16.7		15.8

*Radiación 880 Wm⁻² - Temperatura de Celda 48 °C

PLANILLA DE MEDICIONES - 2

LUGAR: CARRANZA

FECHA: 30/05/2000

ESTADO DEL CIELO: **Semi-nublado**

Hora Inicio de mediciones: 11:20 hs

Temperatura ambiente: 23 °C

Temperatura de celda: 38 °C

Radiación: 750 Wm⁻² - varía entre 730 y 770 Wm⁻² durante el proceso de medición.

Sistema de generación formado por cuatro conjuntos en paralelo, de ocho módulos en serie cada conjunto.

	Tensión de circuito abierto (V)	Corriente de corto circuito (A)	Tensión de carga (V)	Corriente de carga (A)
Todos conectados	159.1	8.20	108	7.15
Conjunto 1	147.6	2.04	108	1.88
Conjunto 2	158.4	2.06	107.2	1.53
Conjunto 3	157.6	2.03	107.6	1.78
Conjunto 4	157.2	2.04	108.6	1.95

Medición de la tensión en carga de cada panel en voltios.

Conjunto 1		Conjunto 2		Conjunto 3		Conjunto 4	
Todos conectados	Sólo el conjunto	Todos conectados	sólo el conjunto	todos conectados	sólo el conjunto	todos conectados	sólo el conjunto
16.1	16.1	18.7	18.3	17.0	17.2	6.5	7.2
15.9	16.0	- 1.6	1.7	16.9	17.2	14.5	15.9
15.6	15.9	8.5	8.3	- 1.3	1.2	14.8	16.1
15.9	16.1	18.5	18.1	16.8	17.1	14.9	16.4
16.1	16.2	18.7	18.3	17.3	17.4	14.0	16.2
16.3	16.5	18.6	18.2	7.7	7.7	14.7	16.3
7.1	7.2	9.1	9.6	17.1	17.2	14.5	16.3
7.2	7.4	18.7	18.4	17.0	17.0	14.6	16.3

En las plantas de la primera etapa, donde se sustituyeron la totalidad de los paneles, caso de la planilla 2, se observa una situación semejante. Ocho paneles presentan un deterioro muy pronunciado.

CONCLUSIONES

Cuando se detecta deterioro en los módulos es conveniente reemplazarlos, pero esto no se pudo realizar en el caso de la plantas que se describen puesto que no se suministró por parte del fabricante los paneles de reemplazo.

En la totalidad de las plantas de bombeo instaladas dentro del Programa de Bombeo Fotovoltaico, existe el fenómeno de envejecimiento de paneles. Si bien se fueron cambiando módulos y resolviendo en forma parcial el abastecimiento de agua a las comunidades rurales, esta situación obliga a contemplar soluciones alternativas, tales como llevar agua en camiones o que la población se resigne a consumir menos agua.

Es preocupante desde el punto de vista de la experiencia en Catamarca, el efecto negativo que estos problemas producen a nivel de funcionarios y técnicos a la hora de definir la tecnología a emplear en situaciones similares, por cuanto la alternativa fotovoltaica está cuestionada en su desempeño en el transcurso del tiempo. Como seguramente esta situación se debe a la calidad de las celdas empleadas o al proceso de fabricación de los paneles, conviene establecer condiciones contractuales para que en el caso de deterioros fuera de los términos publicitados (pérdida de eficiencia menor al 20% en 20 años), permitan una urgente solución.

La normalización y control por medio una institución especializada, que certifique los deterioros contribuiría en alguna forma a dar un mayor sustento legal al reclamo de reemplazo de los módulos como ejecución de garantía.

REFERENCIAS

- Herrera R. y Toledo R. (1999). Método de control de sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua mediante técnicas de predicción. Trabajo inédito.
- Herrera R., Rodríguez C. et al. (1994). Bombeo fotovoltaico de agua en La Horqueta - Dpto. La Paz - Catamarca. Diseño y características de funcionamiento. Actas de la 17va Reunión de Trabajo ASADES, pp 51-58, tomo 1, Rosario, Argentina.

ABSTRACT - The present work describes the behaviour of modules photovoltaics installed in the frame of the Argentinio-Alemán agreement of photovoltaic pumping systems, in seven plants in Catamarca Province. The consecutive methodology for the determination their operation is described, keeping in mind the inconvenient principals that were presented in the course of the nine years of installing the systems. For the mensurations a criterion of pursuit was adopted to attend fundamentally to the identification the modules that present greater deterioration, keeping in mind that the same are those that produce the loss of efficiency in the group and the system. It proposes a methodology of mensuration that with low costs allows to evaluate the operation of panels photovoltaics and it certify the behaviour so that the outfitters of the same re-establish the operative conditions in front to situations deterioration.