

CONTROLES Y COMPORTAMIENTO DE INSTALACIONES DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS EN ESCUELAS RURALES DE CATAMARCA, ARGENTINA

C. Rodríguez^{1,2}, P. Foresi³, R. Herrera¹, L. Schneider¹

(1) Subsecretaría de Ciencia y Tecnología de Catamarca, (2) Facultad de Ciencias Agrarias-UNCa
Avda. República de Venezuela. Pabellón N°38 – C.A.P.E. – C.P. 4700 – Catamarca, Argentina
Teléfono: 0383-4459676. E-mail: gestion@sucytca.com.ar

(3) Facultad de Tecnología y Ciencias aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca
Maximio Victoria 55, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. (4700).

Recibido 16/09/15, aceptado 15/10/15.

RESUMEN.- En la provincia de Catamarca, Argentina, entre los años 2006 y 2008 se instalaron 38 sistemas fotovoltaicos para provisión de energía eléctrica a escuelas rurales del interior. La obra, realizada por licitación internacional, contemplaba la posibilidad del pago de equipos en acopio, independiente de las tareas de montaje, por lo cual desde la Unidad Ejecutora Provincial se decidió instrumentar diferentes controles para la recepción de la misma. En el presente trabajo se muestran algunos ensayos previos sobre componentes de las instalaciones, los primeros controles de los sistemas completos funcionando in situ y los resultados del monitoreo en funcionamiento bajo condiciones reales de uso. A pesar que algunos componentes, en las pruebas preliminares se ajustaban a las exigencias, durante el periodo de funcionamiento se comprobó que no son los más adecuados para este tipo de instalaciones. Los módulos fotovoltaicos, los reguladores y las baterías presentaron un excelente comportamiento en 8 años de funcionamiento.

Palabras claves: sistemas fotovoltaicos, ensayos, monitoreo.

CONTROLS AND BEHAVIOR OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN CATAMARCA'S RURAL SCHOOLS

ABSTRACT.- In the province of Catamarca, Argentina, between 2006 and 2008, 38 photovoltaic systems to supply electricity energy to rural schools were installed. The work, by international tender, contemplating payment collection equipment, independent of the tasks assemblies, so from the Unidad Ejecutora Provincial, it was decided to implement various controls for receiving it. In this paper some preliminary tests on plant components, controls also the first complete systems running in situ and also monitoring results in operation under actual conditions of use are displayed. Although some components, preliminary tests conform to the requirements, during the period of operation found that they are not the most appropriate for this type of installation. The photovoltaic modules, regulators and batteries showed excellent performance in eight years of operation.

Keywords: photovoltaic systems, testing, monitoring.

1. INTRODUCCION

Durante el periodo 2006 -2008, en la provincia de Catamarca, se realizaron 38 instalaciones de sistemas fotovoltaicos para proveer de energía eléctrica a edificios escolares ubicados en diferentes localidades del interior provincial. La obra se hizo dentro del marco del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER), mediante un llamado a licitación pública internacional y adjudicación a una empresa privada. Tanto la confección de los pliegos para la licitación como los controles de ejecución de los trabajos estuvieron bajo la responsabilidad de una Unidad Ejecutora Provincial (UEP) conformada a tal fin, integrada por técnicos pertenecientes a diferentes áreas de la administración pública provincial.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

Los sistemas fueron diseñados para trabajar en forma totalmente autónoma y con mínimo mantenimiento. Básicamente, están constituidos por un arreglo de módulos fotovoltaicos de 80Wp conectados en paralelo, conformando generadores que van desde los 400Wp a los 1300Wp, reguladores de carga de 30A y bancos de baterías de 200A-h c/u, que constituyen una reserva de entre 660A-h y 2860A-h. Además, contienen inversores de 1000W, fusibles NH de 36A y 160A, llave conmutadora paneles-grupo electrógeno y un sistema de relevador (LVD) de mínima tensión de baterías controlado por la salida de carga de los reguladores, todos contenidos en un gabinete compartimentado, adecuadamente aislado y ventilado.

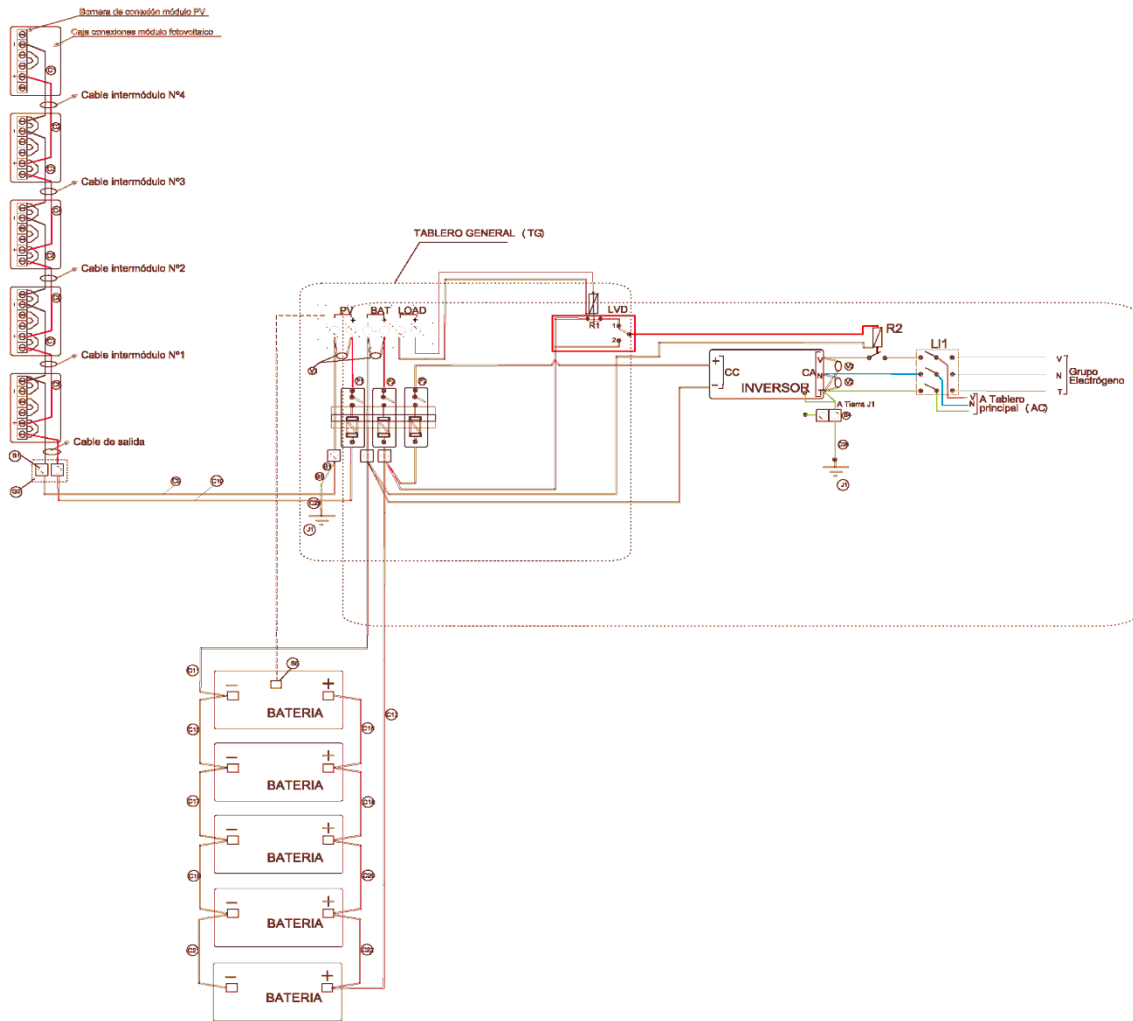


Fig. 1: Conexión eléctrica de una instalación de 400 Wp.

En la Figura 1 se muestra un conexionado tipo de una instalación de 400Wp de potencia, donde se puede identificar cada uno de los componentes mencionados más arriba y en la Figura 2 una vista del sistema instalado en la escuela N° 345 La Hoyada, Departamento de Santa María.



Fig. 2: Vista de Instalación Fotovoltaica en Escuela N° 345 La Hoyada – Dpto. Santa María.

3. METODOLOGÍA

Como la normativa empleada por Banco Mundial, organismo financiador de la obra, contemplaba la posibilidad del pago de materiales y equipos acopiados, ya sea en fábrica o en obra, en forma independiente del pago de las tareas de montaje de los mismos, desde la UEP se procedió a instrumentar los controles en tres etapas diferentes.

En una primera instancia, a los fines de verificar la calidad de los principales componentes de los sistemas a instalar y el cumplimiento de las especificaciones técnicas exigidas en los pliegos, se realizaron diferentes ensayos, respetando los protocolos fijados por las normas correspondientes. En algunos casos, como los módulos fotovoltaicos, inversores, baterías y luminarias se tomaron muestras representativas del total del lote de componentes, mientras que en otros casos como los reguladores, se ensayaron todas las unidades. Una vez completadas las instalaciones en cada una de las localizaciones elegidas, se implementaron los primeros controles de los sistemas completos in situ, funcionando con diferentes situaciones de carga. La tercera etapa de control contemplaba un monitoreo periódico de los sistemas en funcionamiento bajo condiciones reales de uso, pero por razones presupuestarias no pudo concretarse como estaba previsto.

En el presente trabajo se muestran solo algunos resultados (por razones de espacio), de ensayos realizados en cada una de las etapas y las medidas adoptadas en los casos de incumplimiento de las especificaciones técnicas. También las dificultades surgidas durante y posterior al montaje de los sistemas para ajustarse a la exigencias de los pliegos, y los problemas o fallas ocasionados por el uso o manipulación de los mismos por terceros, sin contemplar las particulares de las instalaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Control de calidad de los componentes.

4.1.1 Inversores.

De los equipos propuestos se eligió el ATERSA BC 1524 V, pero en ese momento estos aparatos no contaban con la correspondiente homologación, por parte de la Secretaría de Industria, Comercio y Minería (SICM), para ser instalados en el mercado argentino (Resolución 92/98 y disposición 178/2000 de la Dirección Nacional de Industria y Comercio –DNCI). Como el tiempo necesario para su homologación resultaba incompatible con los plazos originales de ejecución de la obra; luego de una evaluación de las características técnicas del XANTREX PROSINE 1000 i, ofrecido como alternativa y teniendo en cuenta que el mismo contaba con las correspondientes habilitaciones técnicas y ya había sido utilizado en otras instalaciones PERMER, se

aceptó el cambio de equipo, pero con objeciones en cuanto a sus prestaciones.

Los ensayos sobre este componente se realizaron en el laboratorio del Grupo de Energías No Convencionales - GENOC – CONICET de la Universidad Nacional del Litoral (Figura 3), siguiendo el siguiente procedimiento: del total de inversores se tomó una muestra de 10 unidades, comprobándose las características técnicas especificadas por el fabricante, tales como: auto-desconexión en bajo consumo, en sobrecargas y por baja tensión de baterías. Las experiencias se realizaron con dos condiciones de temperatura: a) temperatura ambiente y b) un rango de temperaturas sobre carcasa (Tc) entre -10°C y -16°C. En estas condiciones se midieron Tensión, Distorsión Armónica Total en Corriente (TDH A), Distorsión Armónica Total en Tensión (THD V) y Factor de cresta (Fc). Las mediciones fueron realizadas con un analizador de potencia Fluke Modelo 43 B y osciloscopio Tectronic. Para todos los ensayos el valor de Frecuencia = 50 y el Fc = 1,4.

En Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos con 5 dispositivos a una temperatura ambiente de 23°C y en Tabla 2 a temperaturas sobre carcasa, entre -10,5°C y -16,4°C. Estos resultados se consideraron satisfactorios por ajustarse a las características técnicas indicadas por el fabricante.

Tabla 1: Resultados de ensayos sobre 5 inversores XANTREX -PS1000 112/230 HW a 23°C

Nro.	En Vacío (40 W)			Media Carga (500W)			Plena Carga (1000W)		
	Tensión (V)	THD A	THD V	Tensión (V)	THD A	THD V	Tensión (V)	THD A	THD V
1	230,6	4,8	0,5	227,7	0,7	0,6	225,8	0,6	0,6
2	230,7	4,9	0,5	227,7	0,7	0,6	225,6	0,7	0,6
3	230,5	4,8	0,5	227,8	0,7	0,6	225,7	0,7	0,6
4	230,5	4,9	0,5	227,7	0,7	0,6	225,8	0,7	0,6
5	230,9	5,0	0,5	227,9	0,7	0,6	225,8	0,7	0,6

Tabla 2: Resultados de ensayos sobre 5 inversores XANTREX -PS1000 112/230 HW a temperaturas inferiores a -10°C

Nro.	En Vacío (40 W)				Media Carga (500W)				Plena Carga (1000W)			
	Tensión (V)	THD A	THD V	Tc (°C)	Tensión (V)	THD A	THD V	Tc (°C)	Tensión (V)	THD A	THD V	Tc (°C)
1	230,5	4,8	0,5	-10,5	227,7	0,7	0,6	-10,5	225,8	0,7	0,6	-10,5
2	230,7	4,8	0,5	-10,1	227,9	0,7	0,6	-10,0	225,6	0,7	0,6	-10,0
3	230,4	4,9	0,5	-16,4	227,8	0,7	0,6	-16,4	225,5	0,6	0,6	-16,4
4	230,5	4,9	0,5	-11,2	227,7	0,7	0,6	-11,2	225,8	0,7	0,6	-11,2
5	230,8	5,1	0,5	-12,5	227,8	0,7	0,6	-12,5	225,8	0,7	0,6	-12,4

4.1.2. Reguladores.

En las instalaciones se utilizaron reguladores MORNINGSTAR PS30. En una primera instancia, del total, se tomó una muestra de 8 unidades y se procedió a ensayarlos en el Laboratorio del GENOC (Figura 4). Respetando el procedimiento de calibración y lógica de

funcionamiento, conforme a las normas ISO 9000 bajo las cuales se producen estos reguladores, se determinó que 3 (tres) de ellos presentaban demoras menores a 4 minutos en desconectar la carga por bajo voltaje de “baterías” (Low Voltage Disconnected - LVD), en contraposición a las especificaciones técnicas. Comentado con el fabricante,

expresó que este problema podría deberse a que “existen filtros adaptativos que promedian medidas antes de la lectura del microprocesador, es decir que las decisiones del microprocesador no dependen de los valores instantáneos detectados, sino de valores promediados en el tiempo”. Esto llevó a modificar la metodología del ensayo, procediendo a inducir al micro a la toma de datos a intervalos de tiempo prefijados, mediante el funcionamiento de los reguladores bajo distintas rampas de tensión (como una forma de “enseñar” al microprocesador los valores de tensión). Lo que dio como respuesta, cambios de luces a valores temporales distintos, dependiendo de la velocidad de la rampa, pero en todos los casos comprobándose que la demora del tiempo de corte (luz roja parpadeante a roja fija) excedía los 4 minutos. A pesar que estos resultados de la muestra representativa se consideraban satisfactorios, se decidió ensayar el total de los reguladores, para verificar si otros mostraran similar comportamiento a estos 3 equipos.



Fig. 4: Ensayos de reguladores MORNING- STAR PS30 en Laboratorio del GENOC.



Fig. 3: Ensayos de los inversores XANTREX PROSINE 1000 i en laboratorio del GENOC.

Los reguladores tienen tres LEDs que indican el estado del sistema y tipo de fallas: VERDE: ON (encendido) indica que la batería está cerca de la carga completa, VERDE: PARPADEANDO indica carga PWM (regulación), AMARILLO: ON (encendido) indica que la batería está a media capacidad

ROJO: PARPADEANDO indica un estado de carga bajo y una advertencia de desconexión de carga con bajo voltaje (LVD), ROJO: ON (encendido) indica que la carga ha sido desconectada (LVD).

En Tabla 3 se muestran resultados de los ensayos de laboratorio realizados por el GENOC para 5 reguladores PS 30, donde se observa en general que los valores medidos se encuentran dentro de las tolerancias de los valores especificados por el fabricante. No se ensayaron las variaciones por temperatura, por carecer los dispositivos de sondas externas.

Tabla 3. Resultados de ensayos realizados sobre cinco reguladores MORNINGSTAR PS 30

Regul. PS-30	Bajando la tensión (V)						Subiendo la tensión (V)						Puntos de ajuste de la batería					
	12,1±0,1		11,7±0,1		11,4±0,1		12,6±0,1		12,6±0,1		13,1±0,1		11,4±0,1		12,6±0,1		15,3±0,1	
	Verde a Amarillo		Amarillo a Rojo Parpad.		Rojo Parpad. a Rojo		Rojo a Rojo Parpad.		Rojo Parpad. a Amarillo		Amarillo a Verde		LVD		LVD recone-xión.		HVD (sobre carga)	
	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)	t min)	V (V)
1	2,03	12,10	2,10	11,62	5,26	11,38	1,02	12,67	1,02	12,67	1,25	13,17	5,26	11,38	1,02	12,67	1,52	15,30
2	2,04	12,10	2,10	11,62	2,58	11,38	1,50	12,68	1,50	12,68	1,41	13,17	2,58	11,4	1,50	12,67	1,38	15,30
3	2,04	12,10	2,04	11,62	3,21	11,38	1,03	12,67	1,03	12,67	1,43	13,17	3,21	11,4	1,03	12,67	1,49	15,30
4	2,03	12,10	1,59	11,62	3,24	11,38	1,33	12,68	1,33	12,68	1,18	13,17	3,24	11,4	1,33	12,67	2,01	15,30
5	2,14	12,10	0,58	11,62	5,07	11,38	1,25	12,68	1,25	12,68	1,13	13,17	5,07	11,4	1,25	12,67	2,13	15,30

Cabe destacar al respecto, que al igual que en el caso de los inversores, no se encontró una norma que describa como realizar los ensayos a estos equipos, por lo cual, en forma conjunta con la empresa contratista, el laboratorio de ensayo y la inspección de la obra, se decidió adoptar el criterio de aceptar aquellas unidades que cumplieran con las especificaciones técnicas del fabricante.

4.1.3. Módulos FV.

En la conversión fotovoltaica se utilizaron módulos Shell Power Max Ultra 80 P. Los ensayos sobre estos elementos se realizaron bajo las recomendaciones de la norma IEC 61215 en el laboratorio del GNOC, el que cuenta con un Simulador Solar (Figura 5), que puede reproducir las Condiciones Standard indicadas por las especificaciones técnicas del producto. Estas pruebas consistieron en: a) Inspección visual y verificación de las dimensiones físicas,

b) Aislación eléctrica, c) Robustez de los terminales de conexión, d) Resistencia al impacto del granizo y e) Medición de las características eléctricas (curva I-V en condiciones standard).



Fig. 5: Ensayos de módulos fotovoltaicos en el laboratorio del GENOC

Del total de módulos ensayados durante la inspección visual se rechazaron 10 unidades que presentaban defectos en su proceso constructivo, 9 con celdas superpuestas y 1 con falta de rigidez en la bornera. En Tabla 4 se muestra un cuadro comparativo de las características técnicas de los mencionados generadores (Test bajo condiciones Standard - STC).

La determinación de los valores correspondientes, para el trazado de la curva de funcionamiento Corriente – Voltaje se hizo mediante el uso del Simulador Solar. En Tabla 5 se muestran los resultados de los ensayos sobre 5 módulos Shell Power Max Ultra 80 P. El primero de ellos (N° de serie 67355) corresponde a un valor de radiación de 848 W/m² y una temperatura ambiente de 25°C.

Para el ensayo de Aislación eléctrica, se aplicó una tensión de 500 V entre los terminales de conexión y el marco del módulo, midiéndose en todos los casos una corriente de fuga menor que 50 µA, además, colgando cada módulo de sus terminales de conexión se verificó la Robustez de las mismas.

En la prueba de Resistencia al impacto se verificó que dejando caer sobre el modulo, en movimiento pendular, una esfera de acero de 20 mm de diámetro suspendida por un hilo de 1m de longitud, el impacto no produjo roturas ni fisuras. Este procedimiento se repitió desplazando el módulo de manera de lograr impactos tanto en la zona central como en zonas cercanas a los 4 vértices (esta prueba si bien no corresponde a IEC 61215 es una Norma aceptada por Telecom).

Tabla 4: Características técnicas de los módulos fotovoltaicos Ultra 80 P

	Módulo Ultra 80-P	Silicio Monocristalino
Pmax	80 W	Potencia pico
Vmpp	16,9 V	Voltaje en el Punto de máx. potencia
Impp	4,76 A	Corriente en el punto de máx. potencia
Voc	21,8 V	Tensión de circuito abierto
Isc	5,35 A	Corriente de corto circuito
α Isc	0,8 mA/°C	Coefficiente térmico
α Voc	-72,5 mV/°C	Coefficiente térmico
η	12,7	Eficiencia del modulo

Tabla 5: Resultados de diferentes pruebas sobre módulos Shell Power Max Ultra 80 P

Nro serie	Vmpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Isc (A)	Pmax (W)	FF	RI	IV	RT	I Fuga (µA)	RF (GΩ)
6735	17,54	4,57	22,06	5,00	80,16	0,73	OK	OK	OK	0,16	3,12
6352	17,58	4,55	22,17	5,02	79,99	0,72	OK	OK	OK	0,55	0,90
6745	17,59	4,64	22,16	5,14	81,62	0,72	OK	OK	OK	0,07	1,4
6350	17,66	4,62	22,13	4,97	81,59	0,74	OK	OK	OK	0,38	1,3
6735	17,70	4,66	22,17	5,11	82,48	0,73	OK	OK	OK	0,30	1,6

F F: Factor de llenado, R I: Resistencia al Impacto, R T: Resistencia de Terminales, I Fuga: Corriente de fuga, I V: Inspección Visual, R F: Resistencia de Fuga.



Fig. 6: Ensayos de baterías VISION 6FM200X en laboratorio del proveedor.

4.1.4. Baterías.

Las baterías utilizadas son las VISION 6FM200X -12V-200AH, previo a su instalación en obra se verificaron en el laboratorio del proveedor si cumplían con las especificaciones técnicas (Figura 6). De un total de 284 baterías se tomó una muestra de sobre las que se realizaron los controles de acuerdo a las exigencias de las normas IEEE450. El ensayo se realizó a corriente constante, descargando 23,9 A en baterías, en forma permanente durante la experiencia, utilizando como carga un Banco de resistencias conectados a la serie de monoblocks. Bajo estas condiciones se midieron tensiones de flote y descarga a intervalos de 1 hora durante 7 horas y luego cada 15 minutos hasta completar las 8 horas de autonomía en cada uno de los monoblocks. Los resultados obtenidos muestran que luego de 8 horas todas las mediciones superaron los 1,8 V por celda, es decir 10,80 V por monoblock, por lo cual se consideraron satisfactorios. En Tabla 6 se muestra un detalle de los valores de tensión medidos luego de cada intervalo de tiempo programado, para un conjunto de 5 baterías.

4.1.5. Lámparas.

Los ensayos sobre lámparas y luminarias se realizaron en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLV) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, donde se determinó que las lámparas fluorescentes TL-D 18W/54 "Philips" provistas en una primera instancia, no satisfacían las exigencias del pliego de la obra, por lo cual fueron reemplazadas por lámparas tubulares fluorescentes de 18W, marca OSRAM modelo Lumilux Cool White/L18w/840 tipo T8, con arrancador. Los ensayos se efectuaron siguiendo la metodología indicada por la Norma IRAM 2036 para Lámparas tubulares fluorescentes para alumbrado general, (equivalente a la norma IEC60081-Tubular Fluorescent lamp for general lighting service) y complementada además con una metodología diseñada por el mismo laboratorio.

Tabla 6: Verificación de capacidad nominal de 5 baterías VRLA modelo 6FM200X

Tiempo (hs)	0	1	2	3	4	5	6	7	7.15	7.30	7.45	8
Banco N°	Tensión (V)											
1	13,22	12,61	12,49	12,36	12,21	12,08	11,90	11,71	11,65	11,60	11,52	11,47
2	13,23	12,62	12,51	12,38	12,24	12,09	11,92	11,74	11,68	11,63	11,56	11,49
3	13,21	12,64	12,51	12,38	12,23	12,09	11,92	11,73	11,67	11,62	11,55	11,49
4	13,23	12,63	12,51	12,38	12,23	12,08	11,92	11,73	11,67	11,61	11,55	11,48
5	13,24	12,62	12,50	12,37	12,22	12,08	11,92	11,73	11,67	11,61	11,55	11,48
Temp. (°C)	24	24	25	25	25,6	26,6	26,8	27	27	27,3	27,3	27,5

En un ambiente con temperatura controlada, se verificaron primeramente si cumplían con las indicaciones de sus características dimensionales y de diseño. Luego de un periodo de estacionamiento de 24 horas en un ambiente sin metales ni piezas conductoras en las proximidades y colocadas horizontalmente, se verificó que el tiempo de encendido en todos los casos sea menor a 10 segundos. Los resultados obtenidos sobre un grupo de 6 lámparas para las condiciones ambientales de 27 °C y 65 % de Humedad Relativa, dieron un tiempo de encendido de 3" para todos los casos.

También se verificaron que las características eléctricas se encuentren dentro de los límites especificados por la Norma, midiéndose Tensión, Corriente, Potencia y Factor de cresta (Tabla 7).

Las Características Lumínicas informadas por el fabricante para estas lámparas, indicaban que luego de 100 hs de funcionamiento, en ningún caso, el flujo luminoso resultante sería menor al 90% de su valor inicial (1350 lm) y del 75% de este valor, luego de cumplidas las primeras 2000 horas de funcionamiento. La Tabla 8 muestra los valores obtenidos en los ensayos.

Tabla 7: Características eléctricas obtenidas en ensayos sobre lámparas OSRAM Lumilux Cool White / L18w/840, realizados en el laboratorio del DLLV.

Lámpara N°	Tensión de lámpara UI [V]	Corriente de lámpara [mA]	Potencia de Lámpara [W]	Factor de cresta
	$50V \leq UI \leq 84V$		Máxima 19,4W	
1	58,90	364,97	18,30	1,66
2	61,22	360,30	18,96	1,56
3	60,23	364,22	18,73	1,68
4	59,75	362,43	18,44	1,68
5	60,43	361,39	18,76	1,58
6	60,10	361,68	18,56	1,59

Tabla 8: Valores de flujo luminoso inicial y a las 2000 horas de funcionamiento en lámparas OSRAM Lumilux Cool White / L18w/840, obtenidos en el laboratorio del DLLV.

Lámpara	Flujo inicial (100horas) ($\Theta \geq 1215$ lm)	Flujo a las 2000 horas ($\Theta \geq 1012$ lm)
1	1240	1133
2	1349	1190
3	1323	1176
4	1290	1100
5	1360	1108
6	1289	1099

4.1.6. Luminarias.

Con el propósito de determinar la resistencia de la cubierta translúcida y del cuerpo opaco, ante la radiación solar (Ultra Violeta) se efectuaron ensayos sobre un lote de 9 luminarias "Naitylus" para lámparas tubulares fluorescentes. Los ensayos se realizaron con temperatura controlada en el laboratorio del DLLV y consistieron en someter en una cámara de radiación ambas partes de la luminaria (cuerpo y cubierta) a la incidencia de una radiación colimada, sobre una superficie circular de 23 mm de diámetro. Las muestras se sometieron a una exposición de 153 horas, equivalente a 1650 horas de radiación solar máxima (21 de Diciembre), al medio día, sobre el nivel del mar, en forma normal a la superficie. Luego, los puntos expuestos de las superficies transparentes y los puntos opacos fueron inspeccionados para determinar alteraciones en transmitancia en la cubierta transparente o de coloración en el cuerpo. Los resultados indicaban que en la cubierta no se manifestaba cambio de transmitancia y el cuerpo no presentaba cambio de coloración en las muestras ensayadas.

4.2. Montaje de los sistemas y puesta en funcionamiento.

Una vez ensayados los componentes, se procedió al traslado, montaje y control de los sistemas en condiciones reales de funcionamiento. En este proceso surgieron diferentes dificultades que implicaron demoras en los tiempos previstos de ejecución de los trabajos, que los podemos diferenciar entre: a) problemas de logística y b) problemas de cumplimiento con las exigencias de funcionamiento del generador fotovoltaico acoplado a las instalaciones de energía eléctrica de los edificios.

4.3. Problemas de logística y dificultades en el transporte de materiales y equipos.

Los establecimientos escolares en general, se encuentran dentro de un paisaje desértico, agreste y de gran amplitud

térmica. En muchos casos se pueden encontrar escuelas totalmente aisladas alejadas de las concentraciones habitacionales por lo que para acceder a ellas es necesario contar con vehículos doble tracción, aunque en época estival este camino se vuelve intransitable y solo se puede circular a lomo de mula o caminando. Este problema se agudiza en las escuelas del Dpto. Santa María y Tinogasta, donde existen tramos de camino dentro de cauces de ríos de montaña que surcan por profundas quebradas y generalmente tienen mínimo caudal, pero cuando llueve en las cumbres arrastran una gran cantidad de agua y rocas. Similar dificultad para el tránsito se puede encontrar en los establecimientos ubicados en el Salar de Pipanaco - Dpto. Poman, donde los accesos son por caminos precarios tipo huellas que van modificándose permanentemente porque el suelo limoso conforma una especie de colchón de tierra suelta y disimula los "baches", que constituyen una trampa para cualquier tipo de vehículo. En esta zona, en época de lluvia es imposible acceder.

4.4. Dificultades de los sistemas de generación fotovoltaico para ajustarse a las exigencias requeridas, una vez instalado y funcionando en cada edificio.

Por las características particulares del terreno, alta resistividad, (generalmente grava, roca o limo arenoso, con muy bajo contenido de humedad), la mayoría de las instalaciones de puesta a tierra requirieron especial atención. Se tuvo que realizar numerosos ensayos in situ, modificando la longitud del cable desnudo y la cantidad de jabalinas, para lograr que los valores no sobrepasaran los máximos exigidos por los pliegos ($< 5\Omega$ -Norma IRAM 2281-3). En algunas localidades, como por ejemplo, donde está emplazada la Escuela N°170 - Zapicruz- Dpto. Andalgalá, se midió en una primera instancia 124 Ω . En esta instalación, mediante la colocación de 20 m de cable desnudo de 14mm² de sección y jabalinas de 2m de longitud separadas cada 3m, se

consiguió llegar a un valor de 3 Ω . Para controlar valores de resistencia puesta a tierra se utilizó un Telurímetro TES - 1700. Rango de medición: 0 a 399,9V (50Hz,60Hz) \pm (1%rdg+ 4 dgts), Resistencia: 0 a 3999 \pm (2% rdg+3dgts).

4.5. Monitoreo de las instalaciones en funcionamiento.

Para medir aislación eléctrica in situ se utilizó un Megohmetro TES 1602, con auto rango, Aislación 4000 m Ω /V, lectura analógica hasta 10000 m Ω , Voltaje: 600 Vac; resolución 0,1V. Para controlar tensiones y corriente en el sistema fotovoltaico y las instalaciones internas se utilizó un Multímetro ZURICH ZR-955. Vcc: 200 mV - 1000 V \pm (0.5%rdg+1dgt), Vca : 2V - 700V \pm (0.8%rdg+3 dgts), Icc : 2 mA - 20A \pm (0.8%rdg+1dgt), Ica: 200 mA - 20 A \pm (1.8%rdg+3 dgts) y una Pinza Voltiamperométrica AC/DC YFE - YF - 8030A: Vcc: 0 - 1000V, Vca: 0 -750V, R: 200 Ω - 20 M Ω , Icc: 0A - 1200 A, Ica: 0A - 1200A.

Los principales inconvenientes que se detectaron durante el monitoreo fue con los inversores. Estos entraban en falla generalmente por sobrecarga. En tres oportunidades se determinó que las fallas se habían producido en un período en el cual se estaban realizando ampliaciones edilicias en las escuelas y se conectaron hormigoneras a las instalaciones eléctricas. Si bien los eventos pueden considerarse imprevistos para el normal funcionamiento de la escuela, es importante destacar que en estos casos no actuaron las protecciones termomagnéticas. El error estaba en que se habían instalado dispositivos cuya corriente nominal era de 2,5 veces mayor a la corriente de protección por cortocircuito de los inversores (4 Amperes).

Un problema particular se presentó en las Escuelas N° 73 y N° 66 ubicadas en el Salar de Pipanaco - Dpto. Poman, en dos oportunidades no se pudo completar los ensayos de monitoreo, porque los inversores salían de servicio por alta temperatura cuando se los ensayaba con carga. Estos casos se dieron durante los meses de verano y se registraron temperaturas superiores a 50 °C dentro del gabinete compartimentado.

En lo que respecta a los bancos de baterías, en línea generales, éstas tuvieron un buen comportamiento, a punto tal que prácticamente están alcanzando su vida útil (10 años), ya que aún no fueron reemplazadas a pesar que su capacidad de carga ha disminuido. De los 38 bancos de baterías, sólo dos presentaron fallas, aunque consideradas no imputables a los mismos, uno por defecto del regulador de carga y otro por haber sido sometido a ciclos de amplitudes térmicas ambientales extremas (-20°C a + 20°) a 4200 m.s.n.m., debido a la rotura de las puertas del recinto aislado donde estaban colocadas. Se ha determinado en un

monitoreo realizado en Octubre de 2014 que la disminución en su capacidad de carga en la mayoría de las instalaciones (26 bancos) llega a un 50%.

Los Reguladores tuvieron un comportamiento muy satisfactorio. En general no se detectaron fallas inherentes a la calidad de los equipos. Solo uno dejó de funcionar, el instalado en la Escuela N° 38 - Las Papas - Dpto. Tinogasta, aunque no se pudo conocer el motivo.

Con los Módulos FV constituyentes de los 38 generadores y distribuidos de la siguiente manera: 8 generadores de 400Wp, 8 de 600 Wp, 9 de 800Wp, 4 de 1000Wp, 8 de 1200Wp y 1 de 1300, no se registraron ningún problema relacionado a sus características técnicas. Solamente en una instalación se detectó el frezado de la superficie vidriada por caída de granizo.

Un equipo de monitoreo de parámetros eléctricos (marca Schlab) instalado en la escuela N° 495 Los Nacimientos - Dpto. Antofagasta de la Sierra, permitió determinar que la falta de energía, en determinados momentos, se debía a que los paneles fotovoltaicos habían sido orientados para generar la máxima cantidad de energía durante el período de invierno, cuando en realidad esta escuela funciona en periodo especial, es decir, durante la época de verano. Con la modificación de su inclinación se solucionó el problema.

En tres establecimientos la estructura soporte de los módulos colapsó a causa de la acción de fuertes vientos sonda, a pesar que en los cálculos se estimaba debía soportar vientos superiores a 3,6 m/s y en 17 instalaciones presentan signos de fatiga y oxidación.

El colapso de las estructuras soporte se produjo por fallas en las soldaduras en la zona de acople entre dos tramos de las columnas que sostenían los diferentes grupos de módulos FV (Figura 7). Para solucionar este problema se presentaron dos alternativas: a) dos bridas media caña metálicas que abrazan perimetralmente ambos tramos de cada columna, colocadas en la zona de falla y unidas firmemente por bulones (Figura 8) y b) hormigonado in situ de cada columna hasta una altura de 0,50 m sobre la zona de falla (Figura 9).

Si bien la primera opción, en apariencia, es la más sencilla de realizar, tiene el inconveniente que hay que efectuar previo a la colocación de las bridas, el desmontaje de la estructura y extraer las placas de unión mediante el aserrado de las mismas. Además, al no ser un elemento que pueda conseguirse en el mercado, su costo es considerable.

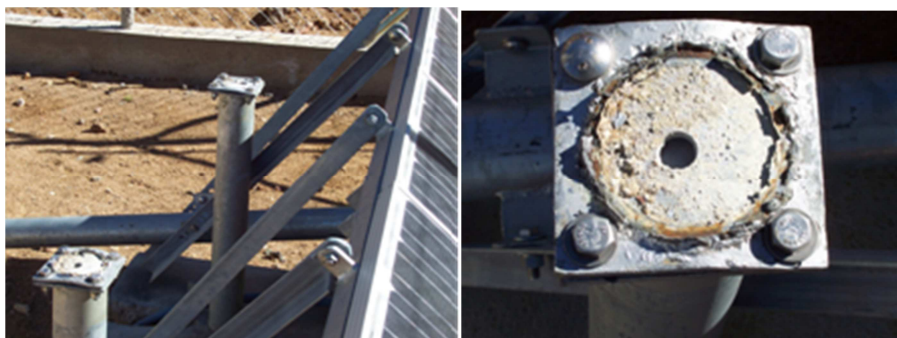


Fig. 7: Rotura en columna de estructura soporte por fallas en las soldaduras.



Fig. 8: Reparación de columnas de estructura soporte de módulos FV mediante hormigonado.



Fig. 9: Bridas metálicas para reparación de columnas de estructura soporte de módulos FV.

La opción b) a pesar que hay que transportar los materiales y las herramientas necesarias para hormigonar, es mucho más sencilla y puede realizarse sin modificar la estructura soporte. Solo hace falta colocar un encofrado desmontable.

Los Gabinetes Compartimentados (Figura 10 y Figura 11), fueron diseñados para resistir temperaturas entre -15°C y 45°C , como las registradas en invierno en la puna o en verano en el Salar de Pipanaco. Están contruidos en doble pared de chapa galvanizada con aislación interna de 0,10 m de poliuretano. Sus dimensiones son 2m de ancho por 0,80 m de profundidad y 2 m de altura. Tienen además en sus paredes laterales, tanto en su parte inferior como en su parte superior, ventanillas regulables para permitir la circulación y renovación del aire del recinto. Estas estructuras en la mayoría de los casos presentaron problemas de corrosión por la agresividad del clima, a los pocos meses de realizado su montaje.

En los Tableros Principales de todas las instalaciones (Figura 12), se colocaron indicadores del estado de baterías y de carga que entrega el generador fotovoltaico al banco de baterías, además un voltímetro con corte electrónico doble destinado a medir la tensión del banco de baterías y una alarma acústica del tipo marinera reseteable en forma manual una vez solucionado el problema que produjo su activación. En el 80% de las escuelas se presentaron inconvenientes con estos sistemas de alarmas, llevando a la quema de la campanilla, especialmente en los casos en los que no fueron puestos en servicio correctamente.

Las Luminarias "Naitylus" provistas en obra fueron observadas porque mostraban algunos defectos de terminaciones con relación a las ensayadas en laboratorio. Durante el monitoreo de los sistemas en funcionamiento se

pudo comprobar que cuando estaban colocadas en ambientes exteriores presentaban síntomas de envejecimiento prematuro (opacamiento), transcurridos solo 3 meses desde su instalación, en contraposición a lo indicado por los ensayos previos. Por lo cual se puede inferir que los elementos provistos en obra no son de igual calidad a los ensayados, a pesar de la similitud en su apariencia.



Fig. 10: Vista de un gabinete compartimentado.

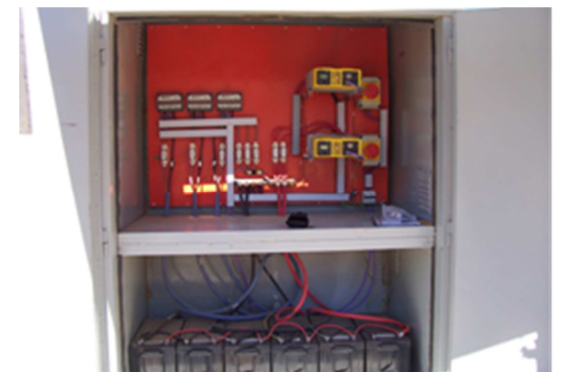


Fig. 11: Vista interior de gabinete compartimentado. Se observa tablero general



Fig. 12: Vista de un Tablero Principal con campanilla

4.6. Problemas relacionados con el uso de los sistemas.

Otras de las causas de pérdida de autonomía de los sistemas por motivos ajenos a las características técnicas de los equipos, se dieron en establecimientos escolares en los cuales los alumnos, además de cargar las baterías de sus netbooks durante las horas de clase (en la mañana), cargan sus celulares, afectando la cantidad de energía entregada por el sistema FV al banco de baterías. Además, en 6 casos se pudo detectar conexiones desde la escuela hasta viviendas vecinas, para colocar alguna lámpara o para el funcionamiento de televisores.

En la Escuela N° 113, Paloma Yaco – Dpto. Santa María, se determinó que se realizó una ampliación de obra sin respetar las exigencias mínimas para este tipo de instalación. Poseía luces dicróicas de 100 W de potencia, lámparas incandescentes de 75 W e interruptores que no cumplían con las normas eléctricas vigentes.

5. CONCLUSIONES

Si bien los inversores instalados (Xantrex Prosine 1000 i) se ajustaban a las exigencias en cuanto a su potencia y las pruebas preliminares resultaron satisfactorias, las fallas que se presentaron durante el periodo de funcionamiento indican que no son los más adecuados para este tipo de instalaciones. Con los inversores ARTESA BC-1524/V propuestos inicialmente es muy probable que no se hubieran producido estos problemas, pues tienen capacidad de arrancar con cargas pesadas y un 300 % de sobrecarga. Además, pueden sensar la instalación a fin de detectar si la falla desapareció y conectar nuevamente en forma automática, evitando la intervención de alguna persona para reconectar.

La falta de coordinación y selectividad de las protecciones llevó a que frente a sobrecargas o cortocircuitos actúe previamente la protección interna de los inversores que las protecciones termo magnéticas ubicadas aguas abajo. Esto ocasiona que los inversores salgan de servicio dejando sin tensión parte o toda la instalación, quitando autonomía a los sistemas, porque requieren resetear los equipos.

Tanto los módulos como los reguladores de carga y las baterías mostraron un excelente performance durante un período de 8 años, en las instalaciones en que se hizo un uso racional de la energía y no hubo intervención por parte de personas sin conocimientos de las características de estos sistemas.

Los materiales utilizados en la construcción y las pinturas de protección de los gabinetes compartimentados no fueron los más adecuados para soportar la acción de agentes corrosivos y la agresividad del clima de estas regiones. Esta mismas causas fueron las causantes del colapso de estructuras soportes con soldaduras defectuosas.

El comportamiento de los sistemas fotovoltaicos en estas instalaciones puede considerarse satisfactorio ya que luego de 8 años de funcionamiento, en condiciones de carga generalmente superiores para las para cuales se habían diseñado, solo requirieron intervenciones de los técnicos especialistas para realizar mantenimiento correctivo o ajustes para continuar prestando servicio.

REFERENCIAS

- Herrera R., Rodríguez C. y Iriarte A. (2000). Comportamiento de Módulos Fotovoltaicos Asociados a Sistemas de Bombeo. CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo).
- Herrera R. y Rodríguez C. (2000). Envejecimiento de módulos fotovoltaicos en Sistemas de Bombeo de Agua en la Provincia de Catamarca. *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente*, 4, 1, 04.01.
- Rodríguez C., Herrera R. et al (2000). Bombeo Fotovoltaico: un análisis técnico – social de instalaciones en la Provincia de Catamarca. *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente*, 4, 1, 04.07.
- Rodríguez C., Foresi P. y Iriarte A. (2008). Diseño y transferencia de sistemas fotovoltaicos en establecimientos educativos rurales de la provincia de Catamarca. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, 2, V.37 – V.41.