

## INSTALACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL NOA.

L. Saravia\*, O. Capalbi y C. Cadena\*\*

INENCO#, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

### INTRODUCCION

Debido a que se están comenzando a instalar equipos fotovoltaicos en el NOA, impulsados en parte por la creación del CRES (Centro Regional de Energía Solar), se decidió hacer previo a los montajes definitivos, una serie de ensayos de materiales y equipos.

Dichos ensayos abarcaron pruebas de lámparas del tipo "alto rendimiento", baterías estacionarias y paneles fotovoltaicos, además de ensayarse globalmente los sistemas de iluminación y bombeo de agua en forma independiente.

Por otra parte se inspeccionaron las zonas donde se instalaron los equipos, y se hizo el cálculo y diseño de la instalación eléctrica para la escuela albergue N° 841, departamento de Molinos (Provincia de Salta), donde se ubicó el primer sistema de iluminación fotovoltaica subsidiado por el CRES.

Con respecto a los ensayos, se trazaron las características tensión-corriente de las lámparas para distintas temperaturas, se levantaron las curvas de carga y descarga de baterías analizando la densidad del electrolito, y se midió la característica tensión-corriente del panel usando una carga electrónica y a radiación constante.

Durante el ensayo del sistema de iluminación, se simularon las condiciones de carga eléctrica del lugar, como así también se eligieron los días más fríos y de mejor radiación.

### 2. ENSAYO DE UN SISTEMA DE ILUMINACION.

El factor climático y la precariedad de las escuelas donde se instalaron sistemas de iluminación llevó a plantear la necesidad de diseñar una casilla especial donde van montados los paneles fotovoltaicos, instaladas las baterías y equipos de regulación y control. Como primera medida se pensó en algo totalmente desarmable y modular, debía

\* Investigador del CONICET

\*\* Profesional del CONICET

# Instituto UNSa.- CONICET

ser liviano y fácil de transportar, y finalmente que cubriera los requerimientos térmicos de la zona.

En la fig. 1 se puede apreciar la forma y el tamaño de la casilla. Está construida con placas de fibrocemento y chapa galvanizada. La pared sur, tiene puerta de acceso al interior y la pared norte, un colector solar vertical hecho en chapa y vidrio. Se previó espacio interior para alojar tambores de agua, para añadirle masa térmica al sistema.

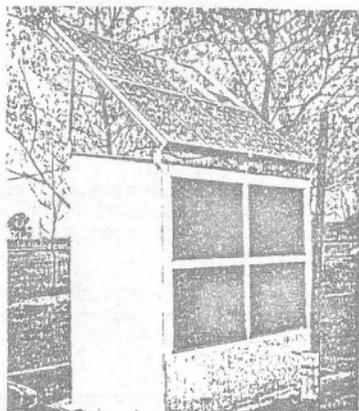


Fig. 1

en el plano de funcionamiento de los paneles.

En la fig. 2, se puede apreciar la variación de la temperatura de la celda los cinco últimos días del ensayo. Los picos de temperatura son por lo general al mediodía y coincidentes con los picos de la corriente de carga y radiación, tal como se ve en la fig. 3. Por otra parte los picos de corriente de carga, que dependen de la radiación, también están relacionados con la tensión de batería, de forma que cuando ésta es mayor, mayores serán dichos picos.

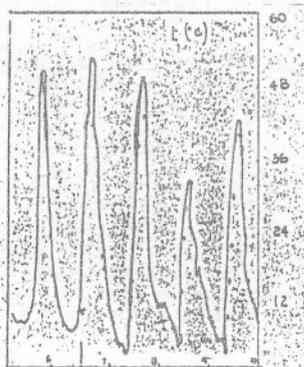


Fig. 2

Se observa que, prácticamente salvo en los dos primeros días, el balance resulta negativo, y el conjunto de baterías recién logra "cruzar el eje", durante el transcurso del 7º día. Las bandas horizontales indican el estado de "inactividad" de la batería. Las líneas ascendentes de magnitud aproximadamente constantes, muestran el período de descarga, mientras que las descendentes el de

Los paneles van montados en el techo tal como se aprecia en la fig. y su ángulo de inclinación puede variarse fácilmente. Durante los ensayos, el conjunto soportó ráfagas de viento de más 120 Km/h.

El ensayo básicamente consistió en monitorear con un datalogger: temperatura, tensiones, corrientes, datos que fueron evaluados luego con la computadora. Como carga se emplearon lámparas incandescentes de 12v. y la potencia instantánea consumida fue 120w. durante 5 hs.

Durante 10 días se midió temperatura de la celda, (en rigor es la temperatura en la cara posterior) temperatura en el interior de la casilla, tensión de panel, tensión de baterías, corriente de carga y descarga de las mismas y radiación

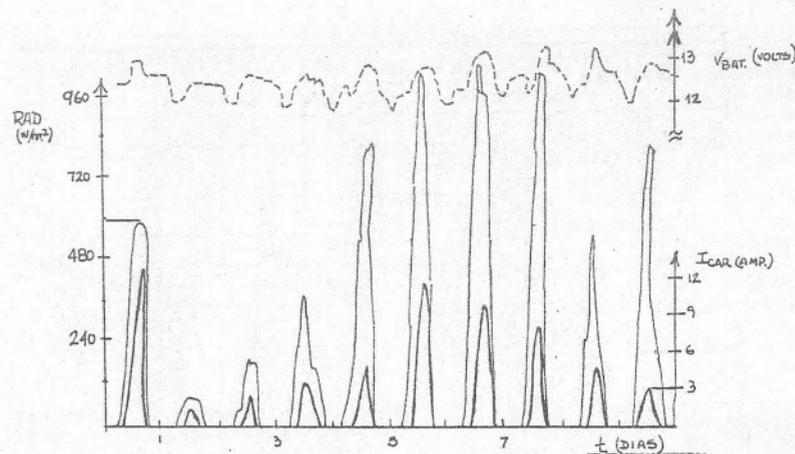


Fig. 3

carga (diferentes y de magnitud proporcional al invierno).

### 3. ENSAYOS DE PANELES

Montados en una "torreta con movimiento universal" se ensayaron los paneles fotovoltaicos. Este montaje permitió conseguir valores constantes de radiación y ángulos y posiciones deseadas.

### 4. ANALISIS DE LA CARGA

Para la iluminación se utilizó luminarias de "Alto Rendimiento". Ya que la tensión de la batería en descarga, decrece con el tiempo, se ensayaron las lámparas determinando la característica TENSION-CORRIENTE para distintas temperaturas.

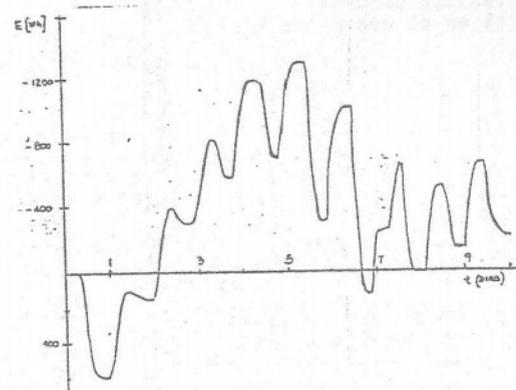


Fig. 4

### 5. ANALISIS DE LA DEMANDA

Luego de un estudio sobre las escuelas albergues de jornada completa, en el interior de la Pcia. de Salta, una de las más aisladas y necesitadas, con problemas de comunicación y abastecimiento resultó ser la mencionada anteriormente.

En la escuela se llevó a cabo un relevamiento de datos y entrevistas con el personal docente, no docente y alumnos, para conocer las actividades que desarrollan. En base a esto se realizó el diagrama de SIMULTANEIDAD DE CARGA, fig. 5, en conformidad con las autoridades de la escuela.

SIMULTANEIDAD DE LA CARGA									
HORA	AULAS	PATIO	COMEDOR ALUMNOS	BANOS ALUMNOS	COCINA COMEDOR	DORMITORIO ALUMNOS	DORMITORIO DOCENTES	BANO DOCENTES	SALA DE ESPERA CONSUL-
19	4LAMP 41,28W 41,28Wh								
20		2LAMP	3LAMP						
21		20,64W	30,96W 31,02Wh	2LAMP	2LAMP				
22		31,02Wh		20,64W 41,28Wh	20,64W	4LAMP	3LAMP	2LAMP	
23						41,28W 82,56Wh	30,96W	20,64W 20,96Wh	2LAMP 20,64W
24							92,68Wh		
01									

Fig. 5

El sistema de iluminación trabajará durante seis horas con un total de 24 luminarias.

### 6. DISEÑO DE LA INSTALACION ELECTRICA

Se decidió una instalación del tipo de CORRIENTE CONTINUA. Se tomaron como base los siguientes criterios:  
 -mínimo recorrido de líneas y tramos,  
 -alto rendimiento (caídas de tensión pequeña)  
 -instalación de la macrocentral en el centro de consumo,  
 -protección

### 7.- CALCULO DE LA INSTALACION ELECTRICA

Se tomó para el cálculo, la resistividad del conductor de cobre recocido igual a  $1.805 \cdot 10^{-5}$  ohm.mm a 25 grados centígrados. La fig. 6 muestra para cada línea y tramo la longitud total, la corriente máxima que circulará, la caída de tensión y las pérdidas, para diferentes secciones del conductor.

Para las líneas 1,2,3 y 4 y el tramo 4 se tomó 10mm<sup>2</sup> de sección. 16mm<sup>2</sup> de sección para el tramo 1 y 25 mm<sup>2</sup> de sección para los tramos 2 y 3.

LINEAS TRAMOS	LONGITUD (m)	CORRIENTE MAXIMA (A)	SECCION DEL CONDUCTOR (mm <sup>2</sup> )					
			10		16		25	
			ΔV(mV)	PER(W)	ΔV(mV)	PER(W)	ΔV(mV)	PER(W)
LINEA 1	73	3.44	453	1.558	283	0.973	181	0.623
LINEA 2	38	3.44	238	0.811	147	0.510	94	0.324
LINEA 3	50	3.44	310	1.068	194	0.667	124	0.427
LINEA 4	40	2.58	196	0.480	116	0.300	74	0.192
TRAMO 1	12	9.88	149	1.026	93	0.840	69	0.410
TRAMO 2	5	10.32	93	0.961	58	0.800	37	0.384
TRAMO 3	15	12.9	349	4.505	218	2.816	139	1.802
TRAMO 4	48	2.58	223	0.576	139	0.360	89	0.230

Fig.6

Se calculó para cada hora las corrientes máximas, factores de simultaneidad de carga, caídas totales de tensión pérdidas, la potencia a suministrar por las baterías. La fig. 7 es un resumen de los resultados.

Con la potencia necesaria para cada hora construimos el DIAGRAMA DE CARGA respecto de las

HORA	CORRIENTE MAXIMA (Amp.)	CAIDA DE TENSION TOTAL(V)	PERDIDA TOTAL (W)	RENDIMIENTO	POTENCIA A ENTREGAR POR BAT.	FACTOR DE SIMULTANEIDAD
19						
20	3.44	0.660	2.240	0.946	43.52	0.17
21	4.30	0.181	0.782	0.948	62.39	0.21
22	7.74	0.255	1.973	0.978	94.86	0.38
23	12.9	0.583	7.522	0.951	162.32	0.65
24	11.18	0.432	4.932	0.984	139	0.56
01	2.58	0.100	0.257	0.990	31.22	0.12

Fig. 7

equivale a una energía acumulada de 1308 W.h. Si dividimos por 12 volts la energía necesaria a suministrar por las baterías, obtenemos los Amp. h. a entregar por las mismas, este valor es de 43.6 A.h.

Tomando una batería, el % de la descarga será del 40% igual a 43.6A.h./batería. Con una profundidad de descarga del 40% estamos prácticamente en el límite de los aconsejados.

Tomando 2 baterías, el % de la descarga será del 20% e igual a 21.8 A.h./batería. Faltando considerar los días nublados tomamos dos baterías como primera aproximación.

### 8. ENSAYO DE BATERIAS.

Tenemos 21.8 A.h./batería en 6 horas de descarga, la corriente será de 3.634 Amp.

Se realizó el ensayo de descarga sobre 4 luminarias durante 10 horas, con un total de descarga de 26.8 A.h. El estado inicial fue:

- tensión de vacío: 12.73 Volts.
- Densidad del electrolito

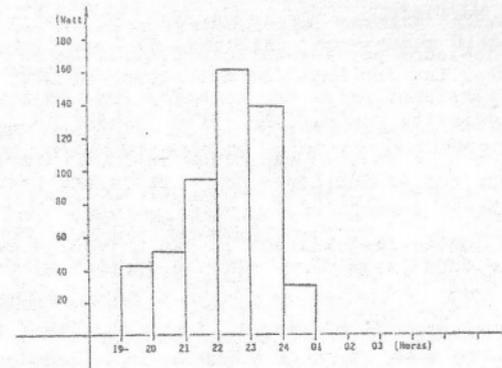


Fig. 8

to promediada sobre el valor de los seis elementos: 1250 gr./cm<sup>3</sup>. El estado final, 48 horas después de la descarga fue:

- tensión de vacío: 12.44 Volts.
- densidad del electrolito promediada sobre el valor de los seis elementos: 1220 gr./cm<sup>3</sup>.

La misma batería se sometió a la carga durante 10 horas, agregando 28.4 A.h. En el proceso de carga, se mantuvo constante la corriente en un valor de 3 Amp., hasta que la tensión en bornes llegó a 14 Volts, tensión que se mantuvo constante hasta finalizar el ensayo. El estado final transcurridas 48 horas después de la descarga fue:

- tensión de vacío: 12.79 Volts
- densidad del electrolito promediada sobre el valor de los seis elementos: 1250 gr./cm<sup>3</sup>.

El rendimiento promedio fue del 94%, por lo tanto cada batería deberá

baterías, fig. 8 El total de energía a suministrar por las baterías es igual a la integral del diagrama de carga y su valor es 523.3 W.h.

Contamos con baterías estacionarias, de plomo ácido, con una capacidad de 109 A.h. que

El rendimiento promedio fue del 94%, por lo tanto cada batería deberá recibir de los paneles:

$$\frac{21.8 \text{ A.h} * 12 \text{ Volt}}{0.94} = 278.3 \text{ W.h} = 1 \text{ MJ}$$

#### 9. DETERMINACION DE LA POTENCIA A INSTALAR

Estimando el rendimiento del controlador de carga en 94% y como dijimos anteriormente el rendimiento promedio de las baterías de 94%, el consumo diario respecto de los paneles será:

$$\frac{523.3 \text{ W.h}}{0.94 * 0.94 \text{ Día}} = 592.2 \text{ W.h/Día} = 2.132 \text{ MJ/Día}$$

La zona determinada para la instalación presenta la característica de una atmósfera diáfana, con pocos días nublados al año. La temperatura oscila entre los -15 y 20°C y la radiación media diaria es de 20MJ/Día \* m2.

Por el abundante recurso solar de la zona y las características mencionadas anteriormente, consideramos un rendimiento de paneles del 10%, con el cual los paneles entregarían 2 MJ/Día\*m2, por lo tanto la superficie de colección será:

$$\frac{2.132 \text{ MJ/Día}}{2 \text{ MJ/Día*m}^2} = 1.066 \text{ m}^2$$

Solo consideramos dos días nublados por las características de la zona, mencionadas anteriormente. Las dos baterías descargan un 20% de su capacidad por día, si dejaríamos estas dos baterías después de un día totalmente nublado, la descarga de la misma sería del 40%.

Se colocaron baterías más, con lo cual la capacidad de cada batería será mayor que los 109 A.h ya que la corriente de descarga por batería disminuye.

Está previsto el aumento de luminarias, instalación de un equipo de comunicaciones y receptores de onda larga. Para ello se duplicó el área de colección.

El área de colección por panel es 0,36 m2, por lo tanto el número total de paneles será:

$$\frac{2 * 1.066 \text{ m}^2}{0.36 \text{ m}^2/\text{panel}} = 6 \text{ paneles}$$