

# Integración arquitectónica de sistema fotovoltaico en escuela estatal rural de Santiago del Estero, Argentina

Gabriela Giuliano\*, Beatriz Garzón \*\*

## RESUMEN

El artículo expone una alternativa de integración arquitectónica de un sistema fotovoltaico autónomo, en una escuela estatal rural de la provincia de Santiago del Estero-Argentina; con el objetivo de lograr generación eléctrica no convencional y ahorro energético, para el funcionamiento y la sostenibilidad del hábitat educativo. Los resultados alcanzados fueron: 1) análisis de costos de energía eléctrica, 2) dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo, 3) diseño y estudio detallado de la instalación. En conclusión, se determinó que con un diseño tecnológico sustentable integrado a la arquitectura, es posible crear un espacio funcional de usos múltiples, para el aprovechamiento de toda la comunidad educativa.

**Palabras claves:** Escuela Rural, Sistema Fotovoltaico, Integración Arquitectónica.

## ABSTRACT

*The article exposes an alternative of architectural integration of an autonomous photovoltaic system to a rural state school of the province of Santiago del Estero-Argentina, with the objective of achieving unconventional electricity generation and energy saving for the operation and sustainability of the educational habitat. The results achieved were: 1) analysis of electricity costs, 2) dimensioning of an autonomous photovoltaic system, 3) design and detailed study of the installation. In conclusion, it was determined that with a sustainable technological design integrated to the architecture, it is possible to create a functional space of multiple uses for the use of the entire educational community.*

### **Keywords:**

*Rural School, Photovoltaic System, Architectural Integration.*

\*CONICET, ITA, CESPES, FCEyT- UNSE. Av. Belgrano (S) N° 1912, CP (4200), Santiago del Estero, Argentina, e-mail: gm.giuliano@gmail.com.

\*\* CONICET, FAU-SCAIT, UNT. Av. Nestor Kirchner N° 1900, CP (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se inscribe, en el marco de un acuerdo de colaboración mutua entre CONICET y la Dirección General de Arquitectura de Santiago del Estero (DGA) -institución estatal responsable de la producción y mantenimiento de escuelas en la provincia- con el propósito de diseñar escuelas bioclimáticas, con uso racional de la energía convencional y la incorporación de energías renovables. Según el último censo nacional de infraestructura escolar (CENIE, 2014), en la provincia sobre un total de 1.463 escuelas estatales relevadas, 622 establecimientos cuentan con provisión de energía eléctrica a través de red, 144 utilizan grupo electrógeno y el resto de los establecimientos escolares no cuentan con acceso. Por otro lado, la implementación del "Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales" (PERMER), desde 2001 a la actualidad, impactó únicamente en 165 escuelas rurales, con obras de sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), que involucran su instalación, solo sobre estructura soporte, sin contemplar su integración arquitectónica. Sobre esta base, surge la necesidad de comenzar a generar propuestas de soluciones alternativas.

## OBJETIVOS

1) Analizar aspectos geográficos-climáticos y arquitectónicos-tecnológicos del prototipo escolar.

2) Estimar consumos y costos actuales de energía eléctrica de fuente fósil.

3) Proponer una alternativa para la disminución del consumo en iluminación.

4) Diseñar un sistema fotovoltaico autónomo con integración arquitectónica.

## METODOLOGÍA

Se utilizó una combinación de metodologías para la presente investigación: analítica, descriptiva, correlacional y aplicada. Los resultados alcanzados fueron: 1) Se consideraron las condicionantes geográficas y climáticas de la localidad; 2) Se realizó un análisis arquitectónico-tecnológico del prototipo, 3) Se evaluaron los costos de iluminación actuales; 4) Se efectuó una propuesta de mejora de artefactos de iluminación para disminuir el consumo; 5) Se dimensionó un SFAS, en función de valores de radiación solar y de consumo propuestos; 6) Se diseñaron detalles para su instalación, logrando su integración arquitectónica.

## RESULTADOS

### 1) Definición de condicionantes geográficas y climáticas

La escuela N° 653 es un establecimiento educativo estatal de nivel primario, que se ubica en zona rural (Fig. N° 1) de la localidad del Fisco de Fátima, perteneciente al departamento Jiménez, provincia Santiago del Estero. La localización corresponde a Zona Biambiental IIb, - Cálida, Subzona con amplitud Térmica menor a 14 °C (Fig. N° 2), según norma IRAM 11.603-2012. El clima es "seco semiárido estepario", según clasificación de Köppen (1936), el mismo se caracteriza por un período estival muy cálido con las altas temperaturas y lluvioso entre los meses de octubre a marzo, en cambio la época invernal es seca y registra temperaturas bajas.



Figura N° 1: Santiago del Estero, Zona Bioclimática “Cálida IIb” (Norma IRAM 11.603-2012).

## 2) Análisis arquitectónico- tecnológico de la escuela

El edificio escolar, es de perímetro libre y se implanta hacia el norte, en el primer medio del terreno (Fig. N° 3 y 4). El partido arquitectónico es lineal, con eje mayor en sentido “NE-NO”. La escuela tiene 3 aulas con uso intensivo, una cuarta y quinta

que sirven a modo de depósito, cuenta además con cocina, sanitarios y dirección. En el terreno, se encuentran plantados árboles en forma planificada, a modo de cortina de vientos y de protección del asoleamiento, que arrojan sombra en paramentos y techo, quedando liberado de sombras arrojadas, durante la mañana solo el sector del acceso.

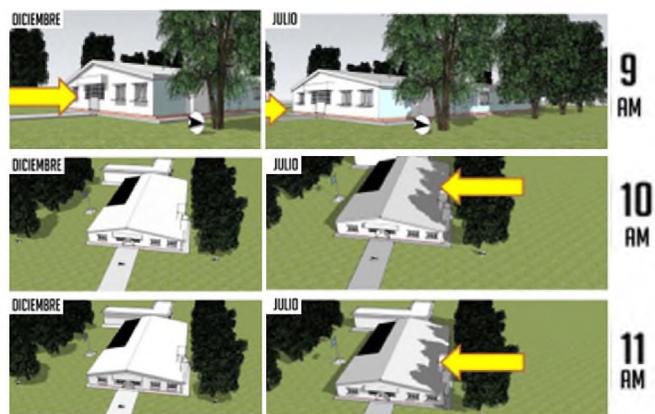
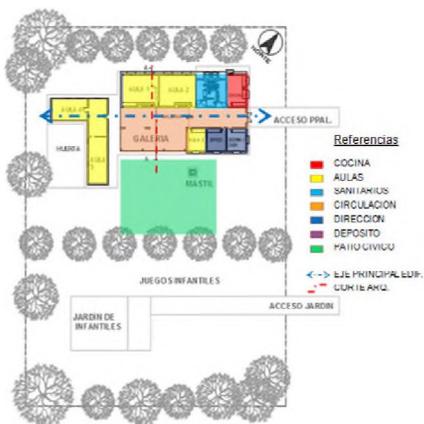


Figura N° 2: Planta con zonificación funcional - Figura N° 3: Plantación arbórea y sombras arrojadas

## 3) Evaluación de costos de iluminación según consumos actuales

La escuela está provista con electricidad de Red. En el interior, la instalación eléctrica es completa y embutida. La iluminación interior existente, es de lámparas tipo fluorescentes tubo y compactas, y la exterior, se resuelve con lámparas tipo alógenas (Fig.

N° 4- Tabla N° 1). La iluminación artificial total, es responsable de un 55 % del consumo total energético diario (Wh/día). En la Figura N° 5, puede observarse los consumos de cada bimestre, verificándose un incremento del costo de la energía eléctrica, que en el transcurso de 2 años, fue de 545 % aproximadamente. Con ese ritmo sostenido de au-

mentos, el estado provincial pagará cada año costos más onerosos por la energía eléctrica. Por tal motivo, se propone la reducción del consumo de iluminación, mediante tecnología LED y el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo, para abastecer a toda la escuela (SFA).

**4) Propuesta de reducción del consumo energético eléctrico**

Debido a que en los 2 últimos años, se incrementó considerablemente del costo de la energía eléctrica en la provincia, con la tendencia de continuar acrecentándose. Se propone la disminución del consumo, mediante el reemplazo de las lámparas convencionales de bajo consumo, por lámparas del tipo LED (Tabla N° 2- Fig. N° 7).



Figura N° 4: Planta de instalación eléctrica, Figura N° 5: Gráfico de consumo y costo eléctrico.

Tipo de artefactos	N° Artef.	Potencia (W)	Uso (h)	CA (Wh/día)	Porc. (%)	Gráfico
Lámp. Alúgena	5	70	10	3500	15,85	
Lámp. Fluorescente Comp.	5	70	5	1750	7,93	
Lámp. Fluorescente Tubo	30	45	5	6750	30,57	
TV color +video/DVD	1	60	2	120	0,54	
Electrodoméstico	1	60	2	120	0,54	
Heladera Freezer	1	195	24	4680	21,20	
Bomba de agua de- 1/2 HP	1	500	2	1000	4,53	
Radio grabador/Audio	1	20	4	80	0,36	
Ventiladores	12	60	4	2880	13,04	
CPU+ Monitor	2	300	2	1200	5,43	
<b>TOTAL</b>		1320		22.080	100	

Tabla N° 1: Consumo de eléctrico (Wh/día), Figura N° 6: Gráfico de consumo eléctrico (%).

Tipo de artefactos	N° Artef.	Potencia (W)	Uso (h)	CA (Wh/día)	Porc. (%)	Gráfico
Lámpara LED	9	11	4	396	2,99	
Lámpara Tubo LED	32	26	4	3328	25,17	
TV color +video/DVD	1	60	2	120	0,91	
Electrodomésticos	1	60	2	120	0,91	
Heladera Freezer	1	195	24	4680	35,39	
Bomba de agua de- 1/2 HP	1	210	2	420	3,18	
Radio grabador/Audio	1	20	4	80	0,60	
Ventiladores	12	60	4	2880	21,78	
CPU+ Monitor	2	300	2	1200	9,07	
<b>TOTAL</b>		936		13.224	100	

Tabla N° 2: Consumo propuesto (Wh/día), Figura N° 7: Gráfico propuesta de consumo (%).

**5) Dimensionado del sistema fotovoltaico autónomo simple**

Mediante el calculador "FotovArq" (Giuliano y Garzón, 2017) se dimensionó un SFAS: el número de módulos FV, sus dimensiones y su integración arquitectóni-

ca. El método utilizado, fue el de "amperios horas", tomando valores de consumo y de radiación solar particulares de la localidad donde se ubica el edificio escolar. Además se adoptaron otros valores, pertinentes para el cálculo (Tablas N° 3 y 4).

Designación	Datos generales	Valores	Unidades
$\eta$	Días de Autonomía	5	días
$V$	Tensión Nominal Batería	24	V
$W_{pp}$	Potencia Pico de cada Módulo	260	W
$\eta_c$	Pérdidas de Conexión y Dispersión de parámetros	0,1	
$\eta_G$	Eficiencia de carga y descarga de la batería	0,9	
$P_d$	Máxima Profundidad de Descarga	0,7	
$\eta_{inv}$	Eficiencia del inversor	0,9	
Radiación diaria total	Radiación diaria total	2,5	KWh/m <sup>2</sup>

Tabla N° 3: Inicio de carga de datos en el programa calculador "FotovArq"

Cálculos	Formulas	Resultados	Unidades
Carga Total (Lt)	$L_t = \frac{I_{DCC} + I_{AC}}{\eta_G \eta_{inv}}$	16.324	Wh/día
Capacidad de Batería (CB)	$CB = \frac{CB^* \cdot L_t}{V \cdot P_d \cdot \eta_c}$	48.589	Ah.
Horas Solar Pico (HSP <sub>p</sub> )	$HSP_p = \frac{\text{Radiación diaria total}}{1000 [W/m^2]}$	2,5	h
Números de Paneles (N°P)	$N^{\circ} = \frac{L}{W_{pp} \cdot HSP_p \cdot (1 - \eta_c)}$	28	Módulos

Tabla N° 4: Procedimiento de cálculo: determinación de Lt, CB, HSP<sub>p</sub> y N° P.

En el programa FotovArq, se dimensionó el sistema con un panel FV denominado P-260 W, de 1,62 m<sup>2</sup> de superficie total; y permite estimar la superficie de la totalidad de los módulos y la distancia mínima entre

string "cadenas", para maximizar la colección solar y lograr un diseño eficiente integrado arquitectónicamente, útil a diversas actividades de la comunidad educativa (Tabla 5 y Fig. N° 8).

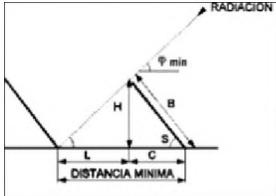
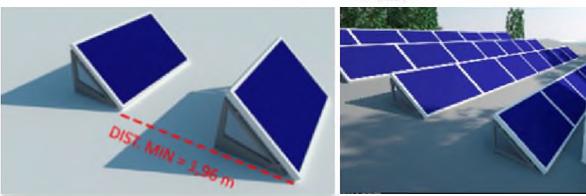
Cálculos auxiliares para decisiones de integración arquitectónica	
Pend. Módulos FV= Latitud del Lugar + 15° Pend. Módulos FV = 26° + 15° Pendiente Módulos FV = 41°	$Dist_{min} = B \times \cos S + \frac{B \times \sin S}{\lg \phi_{min}}$ $Dist_{min} = 0,99 \text{ m} \times \cos 41^{\circ} + \frac{0,99 \text{ m} \times \sin 41^{\circ}}{\lg 28^{\circ}}$ <p><b>Dist. min = 1,96 m</b></p>
	

Tabla N° 5 y Figura N° 8: Cálculo de área MFV y mínima distancia entre string.

**6) Diseño de detalles para la integración arquitectónica:**

La propuesta de integración arquitectónica del SFA, es la de construir una estructura soporte del mismo, de modo que cumpla al mismo tiempo, con la función de cubrir un Salón de Usos Múltiples (SUM). El resultado del diseño, estuvo en

función de la búsqueda de alternativas para optimización de la captación de la radiación solar en verano e invierno (Garzón et al., 2017). Fue seleccionada la alternativa N°3, donde el SUM se ubica en el sector izquierdo del acceso, evitando la sombra arrojada de la vegetación arbórea existente (Figuras N° 9 a 12).



Figuras N° 9, 10 y 11: Alternativas 1 y 2: Techo y S.U.M. con sombra arrojada de vegetación



Figuras N° 12: Alternativa 3-Seleccionada por mayor eficiencia. Fig 13: Detalle Instalación

**CONCLUSIÓN**

Se determinó que en la escuela estatal rural N° 653, el sistema de iluminación artificial interior, tiene un 55 % de influencia en el consumo total de la energía eléctrica. Debido a los incrementos sostenidos, de las tarifas de energía eléctrica a nivel provincial, y con tendencia a continuar acrecentándose, es que se propuso la reducción del consumo con la incorporación de lámparas tipo LED; con lo cual, se logró que la incidencia del ítem, se reduzca a un 28% del total. Se dimensionó, el SFA

para abastecer la totalidad de la demanda de energía eléctrica de la institución educativa. Se logró conciliar, el uso de tecnología sustentable para el aprovechamiento de la energía solar, con un diseño integral de adecuación arquitectónica, que satisface la necesidad de un espacio de múltiple función, para las actividades de la comunidad rural de la localidad del Fisco de Fátima en particular; y en general, con el aporte de pautas para potenciar la sustentabilidad del hábitat escolar rural. En una futura etapa de trabajo, se prevé coordinar

entre CONICET- DGA y el PERMER; con la intención de articular trabajo para fortalecer la promoción de la integración arquitectónica, de sistemas fotovoltaicos autónomos a instalar.

#### REFERENCIAS

- Giuliano G. Garzón, B.; (2017). "FotovArq": Programa de Cálculo de Sistemas Fotovoltaicos autónomos y su integración Arquitectónica. Obra inscrita en la DNDA, Formulario N° 232.930, CABA, Noviembre de 2017.
- Garzón, B.; Giuliano G.; Maldonado J. (2017). "Desarrollo, evaluación y transferencia de estrategias y disposiciones arquitectónicas y tecnológicas no convencionales con uso racional y renovable de la energía para la sustentabilidad y salubridad del Hábitat". Julio 2017, PPA- UNT- FAU.