

## ABASTECIMIENTO ELECTRICO A UNA GRANJA LECHERA AISLADA BASADO EN ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Roberto Horacio Manno

Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería  
Ruta Nacional 36 km. 601, (5800) Río Cuarto - Córdoba  
Tel. y Fax 058 676 246 - [rmanno@ing.unrc.edu.ar](mailto:rmanno@ing.unrc.edu.ar)

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es conocer las alternativas de suministro energético basado en energía solar FV a una granja lechera aislada. Asimismo, ofrecer a los potenciales usuarios, una herramienta que les ayude a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de asignar recursos económicos a estos emprendimientos teniendo en cuenta que ellos permitan mejorar sustancialmente la capacidad de producción, bienestar y rentabilidad, y preservando el medio ambiente. En síntesis, generar una mejor calidad de vida.

Se determinó la radiación solar global sobre superficie inclinada, el perfil de carga diario y anual, y las características de los tres grandes subsistemas, llamados: campo de paneles, baterías y acondicionamiento de potencia. Posteriormente se calculó el costo para las distintas variantes.

En los casos analizados el costo es muy variable, por ello se debería considerar la posibilidad de instalar el sistema en varias etapas, confeccionar un Sistema FV Híbrido u otra fuente alternativa.

### INTRODUCCION

Muchas veces, hablar de diseño y dimensionado de sistemas FV queda reducido a calcular el número de paneles y el tamaño de la batería del sistema. El concepto de diseño es más amplio y engloba a todas aquellas tareas y especificaciones que se deben tener en cuenta para que el sistema funcione satisfactoriamente, al menor coste y con la mayor fiabilidad técnica. Dentro de esas tareas está el calcular el tamaño óptimo de la instalación. Por lo tanto, hablar de diseño es hablar de un concepto más amplio que el de dimensionado.

Los principales factores involucrados en el diseño y ejecución de los sistemas FV son: la radiación solar, temperatura ambiente, características de la carga, configuración del sistema, y características de los tres grandes subsistemas, llamados: campo de paneles, baterías y acondicionamiento de potencia. Los sistemas FV pueden ser representados como una función de transferencia, con la radiación solar como la entrada y las cargas eléctricas como la salida.

El objetivo del presente trabajo es conocer las alternativas de suministro energético basado en energía solar FV a una granja lechera, seleccionando aquella que sea óptima desde el punto de vista económico, social y del medioambiente. Asimismo, ofrecer a los potenciales usuarios, una herramienta que les ayude a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de asignar recursos económicos a estos emprendimientos teniendo en cuenta que ellos permitan mejorar sustancialmente la capacidad de producción, bienestar y rentabilidad, y preservando el medio ambiente. En síntesis, generar una mejor calidad de vida. En este sentido, es que el proyecto puede considerarse como piloto demostrativo ya que permitirá extrapolar la metodología a otras zonas rurales con características geoambientales similares y con ello disminuir las demoras y dificultades a la hora de tomar decisiones concretas, desde el punto de vista económico y técnico.

### MATERIALES Y METODOS

#### CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### Ubicación

El área de estudio se encuentra en el Depto. Río Cuarto, Provincia de Córdoba (Latitud 33° 03' S y Longitud 64° 16' W).

##### Restricciones del lugar

En la zona rural de la región Centro-Sur de la Provincia de Córdoba, se dispone de un amplio conocimiento sobre tecnologías de producción agrícola-cárnica y láctea. Sin embargo, no hay acceso a estas tecnologías para maximizar los procesos de transformación agroindustrial de las materias primas producidas en la región. Estos procesos, principalmente no se realizan debido a que el costo de llevar la energía eléctrica desde la red más cercana resulta en la mayoría de los casos, antieconómico o imposible. Por otra parte, muchos de ellos realizan las tareas en forma manual o con la ayuda de generadores diesel o calderas alimentados con combustibles convencionales con la consiguiente baja rentabilidad y riesgo de contaminación del medio ambiente. Entendiendo a este último como el espacio vital en el cual un "conjunto de factores físicos, sociales, culturales, económicos y estéticos que afectan al individuo y a las comunidades, determinan su forma, carácter, relación y supervivencia". (NEPA: National Environment Policy Act, U.S.A.).

## Radiación solar y condiciones climáticas

Los valores de radiación solar de la Región Sur de la Provincia de Córdoba fueron tomados de Barral (1994) [1]

Las características climáticas de la región fueron establecidas por Cantú (1998) [2] a partir de los datos de la Estación Meteorológica Eo. Los Chafiares ubicada en: Latitud: 33° 01' 45" S; Longitud: 64° 43' 15" W, y la altura de 775 m.s.n.m. La serie corresponde al período 1941-1994. Temperatura media anual=16.5°C, Temperatura máxima media=22.9°C (Enero), Temperatura mínima media=9.18°C (Julio), Precipitación media anual=909 mm y Velocidad del viento (con ráfagas de más de 100 km/h).

El método utilizado para determinar la radiación global sobre superficie inclinada fue establecido por Duffie (1991) [3], Imamura (1992) [4] y adaptado por Manno (1998) [5]. Para la determinación del perfil de carga anual se confeccionaron los correspondientes perfiles de carga diarios considerando un establecimiento rural lechero, centrándose el análisis en los consumos de la vivienda, del sistema de ordeño y enfriamiento de la leche.

La vivienda está conformada por tres dormitorios, salón, cocina, aseo, televisor, pequeños electrodomésticos, radio, lavadora sin calentador de agua, luz exterior y heladera. Se estima su ocupación por seis personas en verano y cuatro en invierno. Y el tambo está constituido por una ordeñadora automática, una electrobomba para la limpieza de las instalaciones y una enfriadora de leche.

## RESULTADO Y DISCUSION

### Radiación global sobre superficie inclinada

A partir de los datos de radiación global diaria se determinó la radiación global sobre superficie inclinada para  $5^\circ \leq \beta \leq 65^\circ$  (Tabla 1).

kWh/m <sup>2</sup>	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
ENE	6.60	5.80	5.77	6.42	6.65	5.92	5.02	4.93	5.42	5.40	4.46	3.47	3.35
FEB	5.90	5.40	5.48	6.17	6.49	5.97	5.28	5.30	5.83	5.90	5.14	4.34	4.29
MAR	4.90	4.60	4.85	5.56	5.97	5.69	5.27	5.42	5.96	6.13	5.62	5.06	5.10
ABR	4.00	3.90	4.27	4.94	5.39	5.33	5.16	5.38	5.89	6.11	5.83	5.5	5.58
MAY	3.00	2.90	3.27	3.92	4.37	4.34	4.22	4.48	5.00	5.25	5.04	4.79	4.92
JUN	2.50	2.40	2.68	3.33	3.76	3.68	3.49	3.73	4.28	4.53	4.28	4.00	4.15
JUL	2.80	2.40	2.61	3.23	3.62	3.43	3.16	3.42	4.06	4.31	4.16	3.92	4.23
AGO	3.20	2.70	2.88	3.72	4.19	3.78	3.21	3.41	4.17	4.44	3.86	3.23	3.41
SET	4.00	3.20	3.36	4.31	4.8	4.17	3.35	3.50	4.37	4.64	3.82	2.96	3.13
OCT	4.90	3.90	3.96	4.94	5.39	4.56	3.52	3.60	4.48	4.69	3.67	2.61	2.72
NOV	5.80	4.70	4.68	5.55	5.9	4.98	3.84	3.80	4.58	4.68	3.56	2.39	2.40
DIC	6.00	5.00	4.92	5.75	6.05	5.12	3.98	3.91	4.63	4.69	3.56	2.39	2.37

Tabla 1: Radiación Global sobre superficie inclinada

En ella se observa que los valores máximos de radiación global en superficie inclinada se encuentran para  $\beta = 25^\circ$  en los meses de verano y para  $\beta = 50^\circ$  en los meses de invierno.

### Demanda energética

Sobre la base de registros proporcionados por el propietario del establecimiento sobre producción láctea y consumo energético total, y mediciones realizadas de consumo de la ordeñadora (5.86 kWh/día) y de la electrobomba de limpieza (184 Wh/día) (supuestos constantes a lo largo del año), se obtuvo el valor correspondiente al consumo de la enfriadora (7.8 kWh/día).

### Perfil de carga

En este estudio se analizaron los perfiles de carga diaria para ordeñadora conectada y no conectada al sistema FV, contemplando las siguientes variantes:

- a.1 Establecimiento sin enfriadora y recogida diaria, con dos ordeños en verano y un ordeño en invierno.
- a.2 Establecimiento sin enfriadora y recogida diaria, con dos ordeños en verano y dos ordeños en invierno.
- b.1 Establecimiento con enfriadora y recogida cada dos días, con dos ordeños en verano y un ordeño en invierno.
- b.2 Establecimiento con enfriadora y recogida cada dos días, con dos ordeños en verano y dos ordeños en invierno.

Obteniéndose los valores de demanda de energía para los períodos de verano e invierno (Tabla 2).

		KWh/día	VERANO	INVIERNO
Con ordeñadora	a.1		7.51	4.54
	a.2		7.58	7.48
	b.1		15.46	10.42
	b.2		15.46	14.28
Sin ordeñadora	a.1		1.45	1.51
	a.2		1.51	1.51
	b.1		9.39	7.39
	b.2		9.39	8.21

Tabla 2. Demanda energética diaria

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2, se confeccionaron los correspondientes perfiles de carga anual (Figura 2).

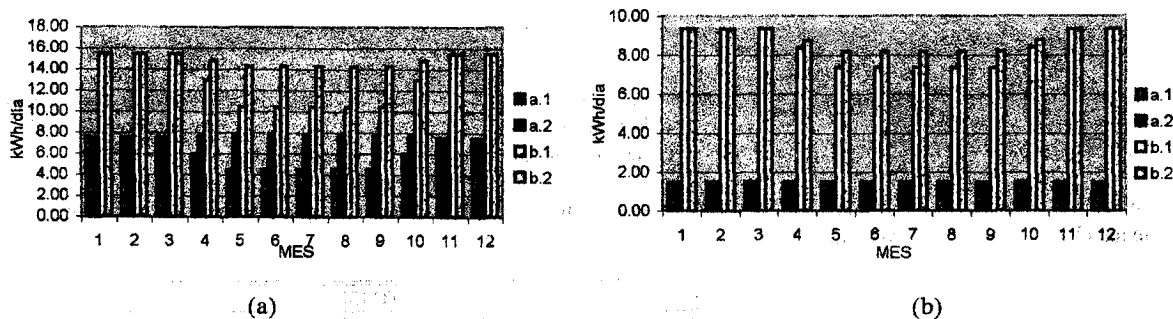


Figura 2: Perfil de carga anual. a) con ordeñadora, b) sin ordeñadora

### DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV

#### Subsistema de captación

Los módulos utilizados en este estudio son de Potencia máxima ( $P_p$ ) = 120 W, con una tensión de trabajo de 12V para el caso "a" y 48V para el caso "b", un rendimiento del módulo FV = 9%, con un rendimiento total del sistema = 85 % y una superficie efectiva = 77 %. Asimismo, se analizó la posibilidad de orientarlos en una inclinación fija durante todo el año  $\beta = 40^\circ$ , y en dos inclinaciones diferentes, para los meses de verano  $\beta = 25^\circ$  y para los meses de invierno  $\beta = 50^\circ$  (Tabla 3).

		NUMERO DE PANELES	
		UNA INCLINACION	DOS INCLINACIONES
Con ordeñadora	a.1	27	18
	a.2	27	21
	b.1	52	36
	b.2	52	40
Sin ordeñadora	a.1	5	4
	a.2	5	4
	b.1	32	24
	b.2	32	24

Tabla 3. Número de paneles necesarios

#### Subsistema de acumulación

El banco de baterías se determinó para acumuladores de plomo-ácido de 12V / 200Ah C-100, con una autonomía de 1 a 5 días (debido a que en la región es el máximo de días de poca o nula radiación), profundidad de descarga = 75 %, y rendimiento del sistema = 85 % (Tabla 4).

		Autonomía		1	2	3	4	5	días
		CB	Baterías						
Con ordeñadora	a	CB		982	1936	2945	3927	4908	Ah
		Baterías		5	10	15	20	25	C/U
	b	CB		505	1010	1516	2021	2526	Ah
		Baterías		12	20	32	44	52	C/U
Sin ordeñadora	a	CB		197	395	592	790	987	Ah
		Baterías		1	2	3	4	5	C/U
	b	CB		307	614	921	1227	1534	Ah
		Baterías		8	12	20	28	32	C/U

CB= Tamaño del sistema de acumulación.

Tabla 4. Número de baterías necesarias

### Acondicionamiento de la energía

La transferencia de energía desde el campo de módulos FV a las baterías es totalmente automática, y se realiza con controladores de carga de uso comercial de características acordes a cada caso establecido.

En el caso "a" el suministro de energía para la vivienda se realiza en 12Vcc y el tambo en 220 Vca. Según se deduce del perfil de carga, la máxima potencia en corriente alterna está determinada por el consumo de la ordeñadora que es de  $P_{m\acute{a}x} = 1470$  W. Para este tipo de carga, donde se necesitan en el momento de arranque una potencia muy superior a la nominal, el inversor seleccionado para acondicionar la tensión, debe tener una potencia de salida = 1500 W, una Tensión de salida = 220 Vca y una eficiencia = 94 %.

En el caso "b" el suministro de energía para toda la carga se realiza en 220Vca. Según se deduce del perfil de carga, la máxima potencia instantánea es de  $P_{m\acute{a}x} = 1970$  W. Para este tipo de carga, donde se necesitan en el momento de arranque una potencia muy superior a la nominal, el inversor seleccionado para acondicionar la energía debe tener una potencia de salida = 2500 W, una tensión de salida = 220 Vca y una eficiencia = 96 %.

### COSTO DEL SISTEMA FV

Para determinar el costo del sistema FV, se consideró una vida útil para los equipos de los sistemas de captación y de acondicionamiento de la energía de 20 años, un tiempo de reposición de 5 años para las baterías y una autonomía de cinco días. Estos costos incluyen los gastos de instalación eléctrica y la puesta en funcionamiento del sistema.

El costo de la instalación FV para los distintos casos, se determinó teniendo en cuenta los precios orientativos del mercado local de los elementos constitutivos del sistema (Tabla 5).

		COSTO [\\$]	
		UNA INCLINACION	DOS INCLINACIONES
Con ordeñadora	a.1	39127	28237
	a.2	39127	31867
	b.1	71131	51771
	b.2	71131	56611
Sin ordeñadora	a.1	12487	11277
	a.2	12487	11277
	b.1	46911	37231
	b.2	46911	37231

Tabla 5. Costo del sistema FV

### CONCLUSIONES

El costo del sistema FV sin ordeñadora conectada, es notablemente inferior al sistema con ordeñadora, por lo que, debido a la modularidad de los sistemas FV, se puede comenzar instalando una parte de la instalación y luego ampliarla.

La disminución de los costos en el sistema con dos inclinaciones diferentes durante el año, es de hasta un 38 % inferior que el costo del sistema de una sola inclinación.

En todos los casos, el costo se incrementa por el tamaño del acumulador para los cinco días de autonomía, por ello se debería considerar la posibilidad de confeccionar un Sistema FV Híbrido con un grupo electrógeno.

Por otra parte, se debería hacer un análisis comparativo entre la posibilidad de alimentar con un grupo electrógeno, con la red eléctrica convencional o con un generador eólico.

### REFERENCIAS

- [1] Barral J., Adaro J., Lema A., Fasulo A. (1994) "Variables Climáticas de la Región Sur de Córdoba". 17° Reunión de trabajo de ASADES.
- [2] Cantú M., Becker A., Schiavo H. (1998) "La Fragilidad Natural del Suelo y el Uso del Territorio como Factores Condicionantes del Proceso de Erosión en la Región Pampeana Subhúmeda, Argentina". 16 th World Congress of Soil Science. Francia.
- [3] Duffie Y. A., Beckman W. A. (1991) "Solar Engineering of Thermal Processes, 2<sup>th</sup>". Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Imamura M. S., Helm P. (1992) "Photovoltaic System Technology". Commission of the European Communities. Bruselas, Bélgica.
- [5] Manno R., (1998) "Abastecimiento Eléctrico en una Explotación Ganadera en la Zona Rural de Río cuarto, Córdoba, Argentina", Tesis de Maestría, Universidad Internacional de Andalucía, La Rábida, Huelva, España.