

COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE PEQUEÑOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

J. Marchioli¹, A. Fernández¹, O. Londero¹, J. Contreras¹, I. Ulla¹

(1) Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas - Universidad Nacional de Catamarca

Tel: 03833-427222 e-mail: juancmarch@yahoo.com.ar

RESUMEN: El presente trabajo tiene por objetivo comparar pequeños sistemas fotovoltaicos desde el punto de vista técnico y un somero análisis económico, con un alcance limitado a los sistemas considerados más importantes. La metodología empleada consiste en estudiar dos sistemas de corriente continua y uno de corriente alterna con consumos en orden creciente según se analiza, determinando las características técnicas de los sistemas fotovoltaicos y banco de baterías asociados, por último se realizan consideraciones económicas que permitan sacar conclusiones comparativas de los distintos sistemas. Encontramos que cuando se incorporan motores en la carga resulta menos conveniente el uso de generación fotovoltaica, además que no es conveniente utilizar convertidores en las aplicaciones fotovoltaicas sino emplear artefactos de 12V de CC.

Palabras clave: Energía solar, fotovoltaico, energía eléctrica, comparación.

INTRODUCCIÓN

El primer autor trabajó en la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Provincia como Director del Programa Fotovoltaico a través del cual se realizaron alrededor de un total de 700 instalaciones: en escuelas rurales, postas sanitarias y destacamentos policiales, lo cual es el antecedente más destacado sobre el tema en cuestión y para diseñar los sistemas previamente se realizó un estudio similar al que aquí se está exponiendo.- En este último trabajo se referenciaron las instalaciones a las necesidades de pequeños sistemas aislados y los costos al valor del dólar para cálculos futuros.-

La bibliografía empleada para paneles fotovoltaicos es la clásica, complementada con las mediciones existentes de heliofanía e insolación, para los bancos de baterías y equipos asociados los datos solicitados a los fabricantes.-

A fin de evaluar los aspectos técnicos de los pequeños sistemas fotovoltaicos se comparan instalaciones de este tipo desde el punto de vista de la generación, y desde el punto de vista del usuario tres servicios típicos: servicio mínimo, servicio reducido y servicio normal, en orden creciente de la potencia instalada. Se calcula la eficiencia de los sistemas relacionado la energía sobre el costo de generación.-Estos servicios después instalados y puestos en servicio se fueron evaluados en su funcionamiento periódicamente.-

El presente trabajo se enmarca en un proyecto de investigación denominado "Aplicaciones Fotovoltaicas en la Prov. de Catamarca", por lo cual la radiación solar estimada y la presencia de nubes es la que corresponde a nuestra provincia, luego si se quisiera extrapolar esta publicación a otras regiones, deberían ajustarse los valores de heliofanía e insolación.-

Todo esto es para determinar la conveniencia de los sistemas fotovoltaicos de pequeña envergadura (iluminación, radio grabadores, receptores de televisión y pequeños electrodomésticos como heladera y lavarropa chico).-

METODOLOGÍAS e evalúan fundamentalmente dos aspectos a considerar: primero, las características técnicas de los distintos servicios a partir de la estimación para cada aplicación de la corriente consumida por cada uno de los artefactos y de su tiempo de uso, lo cual permite determinar el consumo diario, esto desde el punto de vista de la carga, para poder evaluar la potencia necesaria para la selección de los generadores. La experiencia nos demostró que es muy difícil establecer con cierta exactitud el consumo en Amperes/hora, debido a que no se puede acotar el tiempo que emplea el usuario para cada artefacto.-

Segundo, otro aspecto evaluado son dos consideraciones económicas, determinando primero la relación entre la energía generada y el costo total inicial como una especie de factor de mérito de los sistemas y segundo, la eficiencia de los sistemas por relación de la energía generada sobre el costo inicial de los generadores.-

Los cálculos energéticos de generación se realizan partiendo de los parámetros atmosféricos, para el día de eficiencia mínima (energía del sol-insolación- nubosidad presente-heliofanía- y duración del día), para determinar la energía solar mínima generada.-

DESARROLLO

Para calcular el número mínimo de paneles se relaciona la energía consumida sobre la energía mínima solar y la superficie del panel y su eficiencia.-Posteriormente se selecciona el banco de baterías asociado

Características técnicas de los servicios típicos: Se seleccionaron tres servicios típicos según la jerarquía de menor a mayor de la potencia instalada:

Servicio Mínimo (S.M.): es un sistema de corriente continua con una tensión de 12V para una vivienda consistente, en dos dormitorios, baño, cocina-comedor, a los cuales se les coloca iluminación con luminarias de bajo consumo, se complementa el servicio con un radio grabador, y un televisor blanco y negro de 14".

| Aplicación | Corriente (A) | Tiempo de uso (hs) | Consumo diario (A-h) |
|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| Dormitorio 1 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 2 | 1,26 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 5 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 3 | 3,00 |
| TV 14" blanco y negro | 1,20 | 5 | 6,00 |
| Consumo diario total estimado | | | 16,52 A-h |
| Energía consumida | | | 198,24 |

Tabla 1: SERVICIO MÍNIMO 12V-C.C. Consumo diario total estimado

Servicio Reducido (S.R.): es un sistema de corriente continua con una tensión de 12V para una vivienda consistente en una galería, tres dormitorios, baño, cocina-comedor, a los cuales se les coloca iluminación con luminarias de bajo consumo, se complementa el servicio con un radio grabador, y un televisor color de 14".

| Aplicación | Corriente (A) | Tiempo de uso (hs) | Consumo diario (A-h) |
|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| Galería | 1,00 | 3 | 3,00 |
| Dormitorio 1 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Dormitorio 3 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 3 | 1,89 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 5 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 4 | 4,00 |
| TV 14" color | 3,00 | 5 | 15,00 |
| Consumo diario total estimado | | | 30,78 A-h |
| Energía consumida | | | 369,36 |

Tabla 2: SERVICIO REDUCIDO 12V-C.C. Consumo diario total estimado

Servicio Normal (S.N.): es un sistema de corriente alterna con una tensión de 220V para una vivienda consistente en una galería, tres dormitorios, baño, cocina-comedor, a los cuales se les coloca iluminación con luminarias de bajo consumo, se complementa el servicio con un radio grabador, y un televisor color de 14", una heladera (1/6 HP) y un lavarropas chico.

| Aplicación | Corriente (A) | Tiempo de uso (hs) | Consumo diario (A-h) |
|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| Galería | 1,00 | 3 | 3,00 |
| Dormitorio 1 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Dormitorio 3 | 0,63 | 1 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 3 | 1,89 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 5 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 4 | 4,00 |
| TV 14" color | 3,00 | 5 | 15,00 |
| Heladera (1/6 HP) | 12,5 | 12 | 150,00 |
| Lavarropas chico | 17 | 1 | 17,00 |
| Consumo diario total estimado | | | 197,78 A-h |
| Energía consumida | | | 2373,36 |

Tabla 3: SERVICIO NORMAL 220-C.A. Consumo diario total estimado

Otras consideraciones técnicas que realizaremos a continuación y en base a los datos de heliofanía e insolación es la determinación del número de paneles fotovoltaicos y del banco de baterías asociado.-
 Radiación global día: Consideramos como un día de mínima el 24 de julio, con insolación desde las 8:30 hs hasta las 18:15 hs; para el cual se obtuvo una energía de 25,716 MJ-día/m²; y le corresponde una radiación pico de 1037 W/m².
 Con respecto a la heliofanía promedio de julio, es del orden de 0,71, resultando una energía diaria por metro cuadrado:

$$\text{Energía mínima diaria} = 0.71 \times 7.123 \text{ kWh/m}^2 = 5 \text{ kWh/m}^2 \quad (1)$$

De acuerdo a especificaciones solicitadas a SOLARTEC S.A., sobre sistemas fotovoltaicos podremos determinar el número de paneles necesarios, el banco de baterías asociado, y el costo de los mismos.-

| ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y ELÉCTRICAS | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|
| GES AUTORREGULADOS | 150 Plus | 230 | 300 Plus | 460 |
| Modulo Fotovoltaico | KS35TA | KS50TA | 2 x KS35TA | 2 x KS50TA |
| |  |  |  |  |
| Largo x Ancho x Espesor (mm) | 875x343x36 | 1280x343x36 | 875x686x36 | 1280x686x36 |
| Peso | 4,4 Kg | 6,4 Kg | 8,8 Kg | 12,8 Kg |
| Corriente | 2,33 A | 3,33 A | 4,66 A | 6,66 A |
| Tensión | 15,0 V | 15,0 V | 15,0 V | 15,0 V |
| Potencia | 35 W | 50 W | 70 W | 100 W |
| | Estructura Soporte EP1-343 | | Estructura Soporte EP2-343 | |

Tabla 4: Especificaciones técnicas

Comenzamos calculando los dispositivos técnicos del Servicio Mínimo:

$$\text{Número mínimo de paneles} = \frac{\frac{\text{Energía consumida (Wh)}}{1000 \text{ Wh/kWh}}}{\text{Energía mínima diaria} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times \text{superficie panel} (\text{m}^2) \times \text{rendimiento panel}} \quad (2)$$

Ensayamos con el modelo 150 plus de menor superficie.

$$\text{NMP} = \frac{\frac{195.24 (\text{Wh})}{1000 \text{ Wh/kWh}}}{5 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times 0.3 (\text{m}^2) \times 0.2} = 0.6$$

Ensayamos con el modelo 150 plus de mayor superficie:

$$\text{NMP} = \frac{\frac{195.24 (\text{Wh})}{1000 \text{ Wh/kWh}}}{5 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times 0.4 (\text{m}^2) \times 0.2} = 0.4956$$

Desde el punto de vista económico conviene seleccionar el panel de menor superficie.

Adoptamos un panel del módulo 150 Plus.

Con respecto a la batería asociada, según datos del proveedor mencionado, corresponde adoptar el modelo denominado MOURA CLEAN 12MC105.

Continuamos calculando los dispositivos técnicos de Servicio Reducido con el panel de menor superficie:

$$NMP = \frac{\frac{596.56 \text{ (Wh)}}{1000W/KW}}{5 \left(\frac{KW}{m^2} \right) \times 0.3(m^2) \times 0.2} = 1.3212$$

Con un panel de mayor superficie:

$$NMP = \frac{\frac{596.56 \text{ (Wh)}}{1000W/KW}}{5 \left(\frac{KW}{m^2} \right) \times 0.4(m^2) \times 0.2} = 0.9909$$

Para decidir que paneles adoptar debemos comparar los costos.

| ACCESORIOS | para 150 Plus | | para 230 | | para 300 Plus | | para 460 | |
|-----------------------------|---------------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------|----------|
| | y 150R Plus | | y 230R | | y 300R Plus | | y 460R | |
| | u. | \$ | u. | \$ | u. | \$ | u. | \$ |
| MOURA CLEAN 12MC105 | 1 | 642,00 | | | | | | |
| MOURA CLEAN 12MC150 | | 908,00 | 1 | 908,00 | | | 2 | 1.816,00 |
| MOURA CLEAN 12MC220 | | 1.156,00 | | | 1 | 1.156,00 | | |
| LÁMPARAS BC2212 | 6 | 21,00 | 6 | 126,00 | 12 | 252,00 | 12 | 252,00 |
| INVERSOR TGPOWER 12-300 | | 923,00 | | | | | 1 | 923,00 |
| Subtotal en Pesos sin IVA | | 768,00 | | 1.034,00 | | 1.408,00 | | 2.991,00 |
| IVA | | 93,87 | | 121,80 | | 52,92 | | 437,43 |
| Total en Pesos IVA incluido | | 861,87 | | 1.155,80 | | 1.460,92 | | 3.428,43 |

Tabla 5: Costos de baterías y accesorios

Comparando dos paneles de menor superficie con todos sus sistemas asociados el costo es de \$1460. Asimismo, el costo de un panel de mayor superficie y sistema asociado es de \$1150, concluimos de mayor conveniencia instalar un panel de mayor superficie.

Correspondería cómo banco de batería asociado el modelo MOURA CLEAN 12MC150.

Ahora para el Servicio Normal con el panel de menor superficie:

$$NMP = \frac{\frac{2378.56 \text{ (Wh)}}{1000W/KW}}{5 \left(\frac{KW}{m^2} \right) \times 0.3(m^2) \times 0.2} = 7.9112$$

Con el panel de mayor superficie:

$$NMP = \frac{\frac{2378.56 \text{ (Wh)}}{1000W/KW}}{5 \left(\frac{KW}{m^2} \right) \times 0.4(m^2) \times 0.2} = 5.9334$$

El costo asociado con el panel de menor superficie es de \$4620 y con el de mayor superficie \$10284, concluimos más conveniente elegir cuatro sistemas de panel de menor superficie.

Para este sistema el banco de baterías correspondiente es de 4 unidades del modelo MOURA CLEAN 12MC150.

Cómo este servicio es de 220V C-A técnicamente debemos incluir un cargador de baterías y un convertidor.

Breves consideraciones económicas: Evaluaremos para ampliar el criterio de selección los costos iniciales y determinaremos una especie de índice de merito, la relación costo inicial sobre energía aportada para cada uno de los sistemas, para considerarlos comparables.- Y por otro lado determinaremos la eficiencia de cada sistema dividiendo la energía generada sobre el costo del generador y elementos asociados.

| GES AUTORREGULADOS | | 150 Plus | | 230 | | 300 Plus | | 460 | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|
| | \$ | u. | \$ | u. | \$ | u. | \$ | u. | \$ |
| MODULO FOTOVOLTAICO KS35TA | 948,00 | 1 | 948,00 | | | 2 | 1.896,00 | | |
| MODULO FOTOVOLTAICO KS50TA | 1.337,00 | | | 1 | 1.337,00 | | | 2 | 2.674,00 |
| Estructura Soporte EP1-343 | 112,00 | 1 | 112,00 | 1 | 112,00 | | | | |
| Estructura Soporte EP2-343 | 182,00 | | | | | 1 | 182,00 | 1 | 182,00 |
| Subtotal en Pesos sin IVA | | | 1.060,00 | | 1.449,00 | | 2.078,00 | | 2.856,00 |
| IVA | | | 123,06 | | 163,91 | | 237,30 | | 318,99 |
| Total en Pesos IVA incluido | | | 1.183,06 | | 1.612,91 | | 2.315,30 | | 3.174,99 |

Tabla 6: Costo de paneles

| Aplicación | Corriente (A) | Costo Inicial de la carga (\$) carga(\$) | Consumo diario |
|-------------------------------------|---------------|--|----------------|
| Dormitorio 1 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 21 | 1,26 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 32 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 210 | 3,00 |
| TV 14" blanco y negro | 1,20 | 250 | 6,00 |
| Costo inicial total de la carga(\$) | | 555 | |
| Energía consumida | | | 198,24 |

Tabla 7: SERVICIO MÍNIMO I2V-C.C. Costo Inicial de la carga

Factor de mérito = Energía aportada /Costo total inicial

Costo total inicial = Costos de carga + Costo paneles + Costo baterías

Costo total inicial = \$ 555+ \$ 948 + \$ 642 = \$ 2145

Energía aportada /Costo total inicial = 420 W-h / \$ 2145 = 0.195 W-h / \$

Eficiencia = Energía generada / Costo paneles + Costo de baterías

Eficiencia = 35W*12horas / \$948 + \$642 = 0.26Wh/\$

| Aplicación | Corriente (A) | Costo inicial de la carga(\$) | Consumo diario |
|--|---------------|-------------------------------|----------------|
| Galería | 1,00 | 32 | 3,00 |
| Dormitorio 1 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Dormitorio 3 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 21 | 1,89 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 32 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 210 | 4,00 |
| TV 14" color | 3,00 | 450 | 15,00 |
| Costo inicial de la carga estimado(\$) | | 808 | 30,78 A-h |
| Energía consumida | | | 369.36 |

Tabla 8: SERVICIO REDUCIDO I2V-C.C. Costo inicial de la carga

Factor de mérito = Energía aportada /Costo total inicial

Costo total = Costos de carga + Costo paneles + Costo baterías

Costo total inicial = \$ 808 + \$ 1337 + \$ 908 = \$ 3053

Energía aportada /Costo total inicial = 600 W-h / \$3053 = 0.197 W-h / \$

Eficiencia = Energía generada / Costo paneles + Costo de baterías

Eficiencia = 50W*12horas / \$1337 + \$908 = 0.26Wh/\$

| Aplicación | Corriente (A) | Costo inicial de la carga (\$) | Consumo diario (A-h) |
|--|---------------|--------------------------------|----------------------|
| Galería | 1,00 | 32 | 3,00 |
| Dormitorio 1 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Dormitorio 2 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Dormitorio 3 | 0,63 | 21 | 0,63 |
| Baño | 0,63 | 21 | 1,89 |
| Cocina-Comedor | 1,00 | 32 | 5,00 |
| Radio grabador | 1,00 | 210 | 4,00 |
| TV 14" color | 3,00 | 450 | 15,00 |
| Heladera (1/6 HP) | 12,5 | 790 | 150,00 |
| Lavarropas chico | 17 | 320 | 17,00 |
| Costo inicial de la carga estimado(\$) | | | 1918 |
| Energía consumida | | | 2373.36 |

Tabla 9: SERVICIO NORMAL 220-C.A. Costo inicial de la carga

Factor de mérito = Energía aportada / Costo total inicial

Costo total = Costos de carga + Costo paneles + Costo baterías + Costo convertidor + Costo cargador

Costo total inicial = \$ 1918 + \$ 5348 + \$ 3632 + \$923 + \$250 = \$ 12071

Energía aportada / Costo total inicial = 600 W-h / \$12071 = 0.05 W-h / \$

Eficiencia = Energía generada / Costo paneles + Costo baterías + Costo convertidor + Costo cargador

Eficiencia = 140W*12horas / \$ 5348 + \$ 3632 + \$923 + \$250 = 0.165 Wh/\$

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se determinó la cantidad de paneles necesarios para los consumos considerados por comparación de los costos para distintos generadores, después de haber determinado el análisis técnico con lo cuál se seleccionó el sistemas mas conveniente que en algunos casos resulta un sistema con un número mayor de paneles de menor superficie.

Del somero análisis económico que contempla dos aspectos se puede deducir:

-El denominado factor de mérito que para los dos primeros sistemas es similar cae notablemente para el tercer sistema, indicando que cuando se incorporan motores en la carga resulta menos conveniente el uso de generación fotovoltaica.

-Asimismo la designada con el nombre de eficiencia resulta similar en los dos primeros sistemas, cayendo notablemente para el tercero, lo cual indica que no es conveniente utilizar convertidores sino emplear artefactos de 12V de CC, eso sin considerar la pérdida de energía que implica la utilización de onduladores.

Por último podemos considerar que en un trabajo posterior se debería hacer un análisis más exhaustivo de los costos para determinar más criteriosamente la conveniencia de los sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Publicaciones y mediciones del INENCO-UDICA, donde trabaje durante varios años

Artículo SOLARTEC. Características técnicas y costos de sistemas fotovoltaicos y equipos asociados.

José M. Salgado (2009). Tecnología de las energías renovables.

Javier M. Jiménez (2008). Sistemas solares fotovoltaicos, fundamentos, tecnologías y aplicaciones.

SUMMARY: The present work must by objective compare small photovoltaic systems from the technical point of view and a brief economic analysis, with a reach limited the considered systems more important. The used methodology consists of studying two systems of DC and one of alternating current with in sequence increasing consumptions according to is analyzed, determining the technical characteristics of the photovoltaic systems and bank of associated batteries, finally economic considerations are made that allow to draw comparative conclusions from the different systems. We found what that when motors in the load are gotten up the use is less advisable from photovoltaic generation, in addition that is not advisable to use converters in the photovoltaic applications but to use devices of 12V of CC.

Key words: Solar, photovoltaic energy, electrical energy, comparison.