

ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y GRUPOS ELECTROGENOS EN ESCUELAS RURALES

Graciela Pedro

Dirección de Energías Alternativas
Ente Provincial de Energía del Neuquén
Buenos Aires 283, (8300) Neuquén
gpedro@epen.gov.ar

RESUMEN: Se analizan alternativas de abastecimiento eléctrico de escuelas rurales de la provincia del Neuquén y se las compara en términos económicos utilizando como figura de mérito el Costo del Ciclo de Vida Útil (CCVU) de las instalaciones. Los costos asociados a cada tipo de instalación son los costos propios del EPEN y se basan en la experiencia acumulada en la operación y mantenimiento de grupos electrógenos y de sistemas fotovoltaicos instalados por la empresa en áreas rurales. Los resultados muestran que para sistemas pequeños (700 Wp) el CCVU es aproximadamente el 30% del de un grupo electrógeno pequeño (8 kW) mientras que en sistemas más grandes (24 kW), donde por el tipo de demanda no es posible la instalación de sistemas fotovoltaicos únicamente, la incorporación de un sistema FV de 1800 Wp a un grupo electrógeno de 24 kW puede reducir en un 20% el costo del ciclo de vida del grupo electrógeno trabajando solo.

Palabras Clave: Sistemas fotovoltaicos - Grupos electrógenos – Análisis económico

INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene por objeto realizar un análisis comparativo de distintas alternativas de abastecimiento eléctrico de las escuelas rurales de la provincia del Neuquén, considerando sistemas fotovoltaicos y/o grupos electrógenos.

En la provincia del Neuquén la mayoría de las escuelas rurales a las que no se puede acceder con la línea eléctrica son abastecidas por grupos electrógenos. La utilización de estos grupos ha presentado una larga serie de inconvenientes, siendo los principales el costo del mantenimiento y el costo y las dificultades para la provisión de combustible. En efecto, los accesos suelen ser difíciles o intransitables en algunas épocas del año; el mantenimiento requiere de personal especializado, es oneroso y hay repuestos difíciles de obtener. Las salidas de servicio ocasionan, obviamente, serias dificultades principalmente en escuelas albergues, y es común que la escuela se quede sin energía eléctrica durante varios días.

Los grupos generadores generalmente se eligen para el pico de consumo, luego se le adiciona un factor de seguridad, razón por la cual siempre resultan sobredimensionados y generalmente se utiliza un pequeño porcentaje de la potencia instalada. Cuando termina la jornada escolar o los fines de semana, en las escuelas que no son albergues, el grupo debe funcionar sólo para la vivienda del docente.

La operación del grupo generador es otra cuestión crítica. Es frecuente que sea realizado por personal sin adiestramiento que no dispone del tiempo o los medios para hacerlo correctamente, de suerte tal que la vida útil de los equipos disminuye marcadamente.

Los sistemas fotovoltaicos, por su parte, tienen la ventaja de no requerir combustible, se ha comprobado su muy bajo costo de mantenimiento y que permiten, gracias a la acumulación en baterías, disponer de energía las 24 horas del día. Además, las emisiones de gases contaminantes y ruidos son nulas.

METODOLOGÍA

El estudio comparativo se realizó sobre la base de las siguientes necesidades de abastecimiento:

- A) Escuela pequeña, jornada simple, con grupo electrógeno.
- B) Escuela pequeña, jornada simple, con sistema fotovoltaico.
- C) Escuela grande, albergue, con grupo electrógeno.
- D) Escuela grande, albergue, con sistema fotovoltaico y grupo electrógeno.

La comparación se realizó entre los casos A y B y los casos C y D. En el caso de las escuelas pequeñas es posible la comparación entre sistemas solares puros y diesel puros porque las demandas no son muy importantes. En las escuelas más

grandes y particularmente aquellas que son albergues, las demandas de energía y potencia son considerables principalmente debidas al uso de máquinas de lavar, bombeo de agua, máquinas de amasar, planchas, etc., y no se considera económicamente factible la sustitución total del grupo electrógeno. Por lo tanto al comparar los casos C y D no se elimina el grupo electrógeno pero como alternativa se analiza la incorporación de un sistema fotovoltaico (sistema híbrido) con la finalidad de disminuir al mínimo posible las horas de marcha del grupo.

Para la evaluación de proyectos desde el punto de vista económico existen diferentes técnicas de análisis, en nuestro caso se resolvió utilizar el Costo del Ciclo de Vida Útil (CCVU) como figura de mérito para la comparación de alternativas. Este método toma en consideración no sólo la inversión inicial sino también los costos futuros de operación y mantenimiento. La comparación de los costos totales de cada opción se realiza calculando el valor presente de cada inversión, incluyendo los costos asociados de operación y mantenimiento así como el valor residual de los equipos al fin de la vida útil. La mejor alternativa será aquella que brinde el mismo servicio al menor costo (valor presente). La idea básica del CCVU es traer al presente costos futuros calculando el monto que habría que invertir hoy a la tasa de descuento elegida para poder disponer de la cantidad necesaria cuando haya que realizar el gasto.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN.

En las situaciones A y B se consideran las demandas de iluminación de la escuela que incluye la vivienda del docente, televisor, video, equipo de audio, dos computadoras con impresora y radiotransmisor. El suministro eléctrico se efectúa en 220 Vca.

En los sistemas C y D además de las demandas señaladas en las situaciones A y B, se considera el uso de máquinas de lavar, plancha y bomba de agua, alimentadas por el grupo electrógeno. En algunas escuelas se ha comprobado el uso de fotocopiadora, procesadoras de alimentos e incluso horno eléctrico para cocinar pan.

Los tamaños de los grupos electrógenos fueron tomados en base a los actualmente existentes en las escuelas rurales por lo tanto no son el resultado de un cálculo de optimización.

A) Escuela pequeña, jornada simple, con grupo electrógeno.

- Grupo electrógeno diesel de 8 kW.
- Costo del grupo electrógeno instalado: \$ 14.200 ^[1].
- Funcionamiento diario: 8 hs.

B) Escuela pequeña, jornada simple, con sistema fotovoltaico.

- Sistema fotovoltaico de 700 Wp, banco de baterías estacionarias tubulares de 420 AH, 1 regulador de 30 A y un inversor de 1500 VA.
- Costo del sistema instalado: \$ 28.000.

C) Escuela grande, albergue, con grupo electrógeno.

- Grupo electrógeno diesel de 24 kW.
- Costo del grupo electrógeno instalado: \$ 24.200.
- Funcionamiento diario: 8 hs.

D) Escuela grande, albergue, con sistema fotovoltaico y grupo electrógeno.

- Para el grupo electrógeno valen las mismas consideraciones realizadas en C, con excepción del tiempo de funcionamiento diario que con la incorporación del sistema fotovoltaico se reduce a 3 horas.
- Sistema fotovoltaico de 1800 Wp, banco de baterías estacionarias tubulares de 1080 AH, 3 reguladores de 30 A cada uno y un inversor de 3300 VA.
- Costo del sistema fotovoltaico instalado: \$ 75.000.

CALCULO DE LOS COSTOS DEL CICLO DE VIDA UTIL.

En este análisis económico sólo se toman en cuenta los costos y, para la comparación de los resultados entre las situaciones A y B, y C y D, se considera que la demanda de energía es igual en cada comparación. Sin embargo, la disponibilidad de energía no es la misma porque los sistemas fotovoltaicos cuentan con sistemas de acumulación poniendo a disposición energía eléctrica durante las 24 horas al día mientras que los grupos electrógenos funcionan unas 8 horas diarias.

¹ El símbolo \$ se utiliza para Pesos a valor de Diciembre 2004.

Las situaciones A y B representan el caso de las escuelas de jornada simple en las que, si bien no hay alumnos que residan en la escuela, igualmente hay demanda de energía durante todo el día porque el maestro reside en ella.

Para la situación D se determina que la instalación del sistema fotovoltaico reduce el tiempo de funcionamiento del grupo a 3 horas diarias, esto no sólo disminuye considerablemente el costo del combustible sino que aumenta los años de vida útil del grupo, lo que implica no considerar su reposición durante el ciclo considerado. Asimismo se reducen los costos de mantenimiento, repuestos y mano de obra asociada.

El análisis comparativo se efectúa sobre un período de 20 años, que es el período comúnmente tomado para el análisis de alternativas de suministro de energía y el período durante el cual los módulos fotovoltaicos deben funcionar sin fallas. Se considera una tasa de descuento del 10%, y no se ha tomado en cuenta la inflación para los cálculos. El porcentaje de inflación anual debería restarse a la tasa de descuento; no obstante, se efectúa posteriormente un análisis de sensibilidad a esta tasa.

Para los sistemas de abastecimiento se adoptó un valor residual, al final de su vida útil, del 10%, con excepción del grupo electrógeno de la situación D, donde la reducción del número de horas de funcionamiento determina una vida útil de 28 años, tomándose entonces, un valor residual del 25% al final del período de estudio. En todos los casos se supuso que las escuelas se utilizan 300 días al año con dos meses de receso. Todos los valores adoptados para los cálculos se resumen en la Tabla 1.

Los sueldos del personal técnico así como los viáticos son valores medios del personal del EPEN y, en el caso del sueldo, están incluidas las cargas sociales. El costo operativo de los vehículos se estimó en 1 peso/km valor que incluye la amortización, costos de mantenimiento y combustible. Todos los precios son precios de mercado al momento de hacer el análisis (Diciembre 2004) y la periodicidad de las tareas de mantenimiento y de reemplazo de componentes son el resultado de la experiencia acumulada en el EPEN con la operación y mantenimiento de grupos electrógenos y sistemas fotovoltaicos. En el caso de las baterías de los sistemas fotovoltaicos, la vida útil considerada no solo es función del tipo de batería utilizada, en este caso baterías tubulares, sino también del régimen de ciclado previsto. El costo de la mano de obra para cambio de filtros y lubricantes es el resultado de sumar la parte proporcional del sueldo del técnico de mantenimiento (con cargas sociales), los viáticos y el gasto en movilidad (1\$/km x 80 km) para luego multiplicarlo por la cantidad de veces en el año que debe concurrir a realizar esta tarea.

Los resultados del cálculo del CCVU para cada caso analizado se detallan en la Tabla 2 y en la

Tabla 3, donde también se indican los años en que deben realizarse los gastos por mantenimiento o por reemplazo de componentes.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que para las escuelas pequeñas es muy clara la ventaja comparativa de los sistemas fotovoltaicos. Los factores determinantes son en primer lugar el costo de combustible y, en menor grado, los costos de la mano de obra para mantenimiento y los repuestos. El costo del ciclo de vida de la opción fotovoltaica termina siendo en este caso apenas el 30% del CCVU del grupo electrógeno.

Cuando se comparan las alternativas para las escuelas grandes (

Tabla 3) donde no es posible eliminar completamente el grupo electrógeno por el tipo de cargas que se alimentan (principalmente lavarropas y planchas) la ventaja comparativa de un sistema híbrido no es tan significativa como en el caso de las escuelas pequeñas pero, de todos modos, se logra una mejora del orden del 20% incorporando un sistema FV de 1800 Wp.

Es también interesante observar en el caso de los sistemas C y D la sensibilidad de los CCVU ante la variación del costo del combustible (Figura 1), manteniendo constantes todos los otros parámetros. Se puede observar que en el caso del sistema C cualquier aumento del precio del combustible produce un aumento mucho más importante que en el caso del sistema D. Con la tendencia actual al aumento del precio de los hidrocarburos es evidente que la ventaja comparativa de la incorporación de los sistemas fotovoltaicos se hace más atractiva.

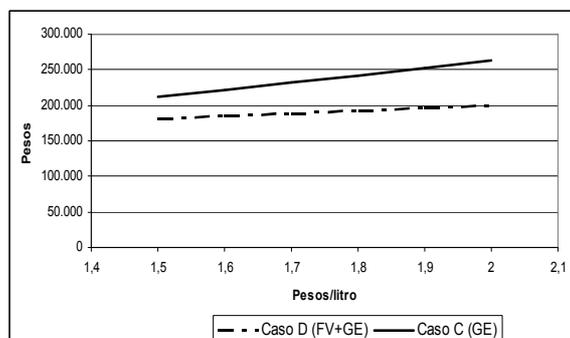


Figura 1 – Sensibilidad al costo de combustible para generación

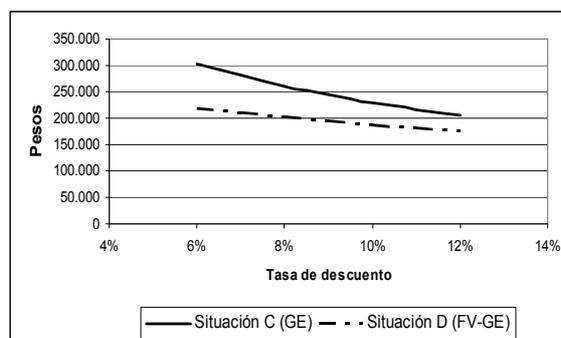


Figura 2 – Sensibilidad a la tasa de descuento

Otra variable que es interesante analizar es la tasa de descuento (tasa de interés). Esta tasa tiene incidencia directa sobre la conveniencia de los sistemas fotovoltaicos debido al alto costo inicial de estos sistemas. En la Figura 2 se grafica la variación de los CCVU para los casos C y D en función de la tasa de descuento. A medida que aumenta la tasa de descuento disminuye la ventaja comparativa de incorporar el sistema fotovoltaico.

Tabla 1 - Valores adoptados para los cálculos

	CASO A	CASO B	CASO C	CASO D
	Escuela pequeña con generador diesel	Escuela pequeña con sistema fotovoltaico	Escuela grande con generador diesel	Escuela grande con generador diesel y sistema fotovoltaico
Generales				
Años del ciclo de vida útil	20			
Días de uso anuales	300			
Tasa de descuento anual	10%			
Sueldo técnico mantenimiento (\$/mes)	1.700			
Viático (\$/día)	70			
Costo vehículo (\$/km)	1			
Distancia promedio a escuelas (km)	40			
Duración inspecciones 1 técnico (días)	1,5			
Grupo Electrógono				
Potencia del grupo (kW)	8	---	24	24
Costo del grupo (\$)	14.200	---	24.200	24.200
Valor residual	10%	---	10%	25%
Uso diario (horas)	8	---	8	3
Vida útil del grupo (horas)	25.000	---	25.000	25.000
Vida útil según horas de uso (años)	10	---	10	28
Consumo prom. comb. (l/h)	2,5	---	5	5
Costo del combustible (\$)²	1,68	---	1,68	1,68
Sistema Fotovoltaico				
Potencia instalada (Wp)	---	700	---	1.800
Costo del sistema completo (\$)	---	28.000	---	75.000
Valor residual (%)	---	10%	---	10%
Mantenimiento Sistema fotovoltaico				
Vida útil baterías tubulares (años)	---	8	---	8
Costo reemplazo baterías (\$)	---	5.800	---	14.300
Vida útil regulador (años)	---	10	---	10
Costo reemplazo de regulador (\$)	---	500	---	1350
Reparación de inversor	---	1250	---	2750
Inspecciones anuales	---	2	---	2
Mantenimiento Grupo Electrógono				
Cambio lubricantes y filtros cada (hs)	500	---	500	500
Costo lubricantes y filtros materiales (\$)	240	---	240	240
Mantenimiento regular cada (hs)	7.200	---	7.200	7.200
Costo Mantenimiento regular (\$)	600	---	700	400
Reconstrucción general cada (hs)	15.000	---	15.000	15.000
Costo (\$):	3.500	---	4.000	4.000

² Incluye traslado a la escuela

Tabla 2 – CASOS A y B: Escuela Pequeña Grupo Electrónico o con sistema FV

Rubro	Año en que se realiza el gasto	Caso A – Grupo 8 kW		Caso B – Sistema FV 700 Wp	
		Costo en pesos	Valor actual en pesos	Costo en pesos	Valor actual en pesos
Inversión	0	14.200	14.200	28.000	28.000
Operación y mantenimiento	Anual				
Lubricantes y filtros	Anual	1.152	9.808		
Mano de obra (incluye traslados)	Anual	1.500	12.770		
Costo de generación (combustible)	Anual	10.080	85.817		
Reparaciones y reposiciones grupo					
Mantenimiento regular	3	600	451		
Reconstrucción general	6	3.500	1.929		
Reposición grupo	10	14.200	5.475		
Mantenimiento regular	13	600	174		
Reconstrucción general	16	3.500	744		
Operación y mantenimiento sistemas fotovoltaicos					
2 inspecciones anuales	Anual			625	5.321
Cambio de baterías	8			5.800	2.706
Reposición regulador	10			500	193
Reparación de inversor	10			1.250	482
Cambio de baterías	16			5.800	1.262
Valor residual					
	10	-1.420	-547		
	20	-1.420	-211	-2.800	-416
CCVU (Pesos)			130.610		37.548

Tabla 3 – Escuela Grande con Grupo Electrónico (CASO C) y con Grupo y sistema FV (CASO D)

Rubro	Año en que se realiza el gasto	Caso C – Grupo 24 kW		Caso D – Grupo 24 kW y sistema FV 1800 Wp	
		Costo en pesos	Valor actual en pesos	Costo en pesos	Valor actual en pesos
Inversión	0	24.200	24.200	99.200	99.200
Operación y mantenimiento					
Lubricantes y filtros	Anual	1.152	9.808	432	3.678
Mano de obra (incluye traslados)	Anual	1.500	12.770	563	4.789
Costo de generación (combustible)	Anual	20.160	171.633	7.560	64.363
Reparaciones y reposiciones grupo					
Mantenimiento regular	3	700	526		
Reconstrucción general	6	4.000	2.205		
Mantenimiento regular	8			700	327
Reposición grupo	10	24.200	8.967		
Mantenimiento regular	13	700	195		
Reconstrucción general	17	4.000	817	4.000	817
Operación y mantenimiento sistemas fotovoltaicos					
2 inspecciones anuales	anual			625	5.321
Cambio de baterías	8			14.300	6.671
Reposición regulador	10			1.350	520
Reparación de inversor	10			2.750	1.060
Cambio de baterías	16			14.300	3.112
5. Valor residual					
	10	-2.420	-897		
	20	-2.420	-360	-13.550	-2.014
CCVU (Pesos)			229.864		187.844

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir que desde el punto de vista económico resulta conveniente la incorporación de un sistema fotovoltaico, tanto en las escuelas pequeñas, en las cuales puede sustituir al grupo electrógeno, como en las escuelas más grandes, donde la economía resulta de la fuerte disminución de las horas de uso del grupo.

Hay factores que favorecen la incorporación del sistema fotovoltaico y que no son cuantificados con el simple análisis de costos como, por ejemplo,

- La disponibilidad de energía las 24 horas del día.
- La eliminación o disminución del uso de combustible, con idéntica repercusión sobre las dificultades e incomodidades derivadas de su transporte.
- El factor ambiental y los inconvenientes ocasionados por la salida de servicio de los grupos electrógenos.

En definitiva la incorporación del sistema fotovoltaico representa una mejora en la calidad del servicio.

ABSTRACT

Alternatives to supply electricity to rural schools in Neuquén province are analyzed and compared using as figure of merit the life cycle cost (LCC) of the different installations. The costs of each one are based on EPEN's know-how operating and maintaining gen-sets and PV systems in rural areas. Results show that the LCC of a 700 Wp PV systems is just the 30% of the LCC of a 8 kW gen-set. For bigger demands that cannot be supplied with pure PV systems a 24 kW gen-set can be supplemented with a 1800 Wp PV system reducing its LCC in about 20%.

Keywords: Photovoltaic systems – Diesel Generators – Economic Analysis