

PROPUESTA TARIFARIA PARA LA ENERGIA FOTOVOLTAICA DOMESTICA EN SISTEMAS FAMILIARES DISPERSOS

Rafael Espinoza P., Ivo Salazar.
CER-UNI: Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional de Ingeniería
E-mail: cer@uni.edu.pe

RESUMEN

A propósito de dos proyectos de electrificación rural con energía eléctrica de origen fotovoltaico desarrollados por el CER-UNI para la DEP-MEM entre octubre de 1999 y julio del 2000 que significaron en lo sustantivo la instalación de 123 y 658 Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD) en más de 40 comunidades extremas del Perú, mayormente de selva, surgió la necesidad de calcular el costo del servicio eléctrico derivado de la instalación de estos 781 SFD y el modelo de gestión asociado, denominado "Cesión en uso", para un horizonte de vida del proyecto de 20 años. Tarea que fue cumplida dentro del marco contractual que respaldó la ejecución referida.

Considerando que este modelo tecnológico que vende el servicio eléctrico es una alternativa puesta en práctica y que podría repetirse en el futuro cercano en otras localidades del Perú, el CER-UNI ha creído conveniente ampliar el "estudio tarifario fotovoltaico" referido arriba, desarrollando un modelo de cálculo de la tarifa del servicio eléctrico correspondiente a SFD dispersos, instalados en comunidades típicamente alejadas de la frontera eléctrica de la red pública y que sea de utilidad, no solo para el cálculo referido, sino también y principalmente para ser una herramienta cuyo uso contribuya con el progreso de la tarea de identificación y definición de procedimientos alternativos de transferencia tecnológica FV al ámbito rural.

ABSTRACT

During the period from October 1991 to July 2000 the CER-UNI has installed 781 photovoltaic solar home systems in more than 40 insoled villages of Peru, mainly located in the jungle region. This project has been developed by commissioning of the Ministry of Energy and Mines of Peru.

From this experience and from the model of associated gestion for a project life of a 20 years duration, the necessity for calculating the electricity costs has arised. For this purpose a photovoltaic tariff analysis has been undertaken and a formula for the tariffs calculation is proposed.

INTRODUCCION

Antecedentes

La DEP-MEM adquirió en 1996 mas de 1000 sistemas fotovoltaicos domiciliarios los cuales fueron instalados en el transcurso de estos años, 781 de estas instalaciones en 6 departamentos estuvieron a cargo del CER - UNI. El proyecto tiene carácter de cesión en uso, esto es, el MEM es el propietario del SFD y cede a los pobladores su uso a cambio de una determinada cuota inicial y cuotas mensuales.

Dadas estas actividades que se han iniciado y que deberían continuarse en el futuro el CER-UNI ha creído conveniente el elaborar una propuesta tarifaria

para la energía eléctrica fotovoltaica doméstica en sistemas familiares aisladas.

Obtener un modelo para el cálculo de la tarifa para una localidad en el marco de la propuesta tarifaria presentada en este trabajo.

La economía de la energía fotovoltaica

Por economía de la energía y particularmente de la energía eléctrica fotovoltaica entenderemos que se trata de un sistema dinámico que consta de elementos concretos (tecnologías fotovoltaicas y conexas) y propiedades asociadas a ellos que generan costos

por si mismos y por los efectos que causan en un sistema socioeconómico en proceso de desarrollo o crecimiento cuando se insertan en él con el fin de cooperar con ese proceso.

Se define a una unidad tecnológica básica fotovoltaica (SFD) como aquella compuesta genéricamente por un módulo fotovoltaico, un regulador electrónico, una batería, una caja de conexiones y tres fluorescentes compactos, con una capacidad energética diaria de 200 a 250 Wh. En adición a esta unidad básica debe agregarse tecnología que también agrega valor y cambia la economía del conjunto.

Se trata de tecnologías que constan de bienes y servicios asociados al transporte, instalación y puesta en marcha del conjunto tecnológico generador FV de electricidad, así como a la organización e instrucción de futuros usuarios.

Se considera que lo más adecuado es *determinar la tecnología global que permita satisfacer con plenitud los requerimientos personales y los del ecosistema receptor sin producir desequilibrios ahora y en el futuro, y para esta tecnología la economía que corresponda.*

Los costos de un SFD o de un proyecto FV crecen cuando se incorporan otras tecnologías además de la básica. Este efecto podría crear una imagen adversa equivocada si no proyectamos nuestro análisis al entorno socioeconómico y geográfico de interés tanto como al estado futuro del sistema integrado por el espacio natural, la tecnología instalada y el usuario final en su dimensión humana.

Se puede demostrar que el costo de no incorporar "las otras" tecnologías podría resultar varias veces mayor que el costo de considerarlas racionalmente bajo el marco conceptual que se describe.

Costos de la energía

La energía interviene a cada momento en las actividades del hombre como puede ser la cocción de alimentos, iluminación, calefacción y la vida misma.

En las poblaciones rurales aisladas la población emplea diversos combustibles ya sea para la cocción o alumbrado y pilas o baterías para el suministro de

energía para equipos como la radio o televisor B/N, nosotros nos centraremos en la parte que nos interesa que es el suministro de energía para iluminación o de electricidad.

Definiciones y conceptos

En el Perú como en muchos otros países las poblaciones rurales emplean para la iluminación el petróleo Diesel o gasolina (grupos electrógenos), mecheros (kerosene), velas, pilas, baterías, leña, otros. Mientras que para encender una radio o televisor el poblador emplea el diesel o gasolina (grupo electrógeno), pilas o baterías.

En forma genérica podemos decir que en las poblaciones rurales aisladas:

- a) Los grupos electrógenos en las poblaciones rurales aisladas no han sido ni son una solución a lo largo del tiempo del uso de los mismos por diversas razones (distancia, mantenimiento, etc.). Sus costos operativos son del orden de los 350 - 400 US\$ anuales / vivienda y sin considerar los efectos de la contaminación. Estos costos están referidos a un grupo electrógeno de 1 kW funcionando 4 horas diarias.
- b) Las fuentes de suministro de energía "tradicionales" (kerosene, pilas, etc.) son las más empleadas y tienen un costo aproximado de US\$ 180 - 220 anuales/vivienda por un servicio que es muy ineficiente e inapropiado.
- c) Los sistemas fotovoltaicos son una solución para muchas poblaciones pero el problema radica en los altos costos iniciales lo que dificulta su adquisición. El costo de US\$ 150 - 180,00 anuales/vivienda con un servicio mucho mejor. Estos costos corresponden a un costo referencial de un SFD de 50 Wp para una vivienda sin costos de sostenibilidad.

Sistema tecnológico fotovoltaico de referencia

El sistema fotovoltaico domiciliario (SFD) está conformado por un conjunto de componentes que sirven para generar energía eléctrica continua a 12 VDC, como se describe a continuación:

Un módulo fotovoltaico.
 Un regulador de carga.
 Una batería.
 Una caja de conexiones.
 Tres lámparas.
 Cables y accesorios.

La tecnología en su mayor parte es importada (módulos, reguladores y lámparas) y el resto del sistema puede ser de fabricación nacional.

Tarifas de la electricidad fotovoltaica

Al establecer una tarifa de un proyecto de electrificación rural con energía fotovoltaica es necesario conocer cada uno de los costos involucrados en la realización de esta actividad de esta forma tomar la decisión de cuales costos se tomarán en cuenta.

Definiciones y conceptos

Los costos en general podemos dividirlos en 4 grupos:

- a) Costos básicos
- b) Costos primarios.
- c) Costos secundarios previos.
- d) Costos secundarios posteriores.

El costo básico está compuesto por la adquisición de los siguientes componentes: módulo fotovoltaico, regulador, batería, caja de conexiones, lámparas.

Los costos primarios lo conforman las actividades complementarias al costo básico para realizar las actividades de instalación, como son los cables y controles, soporte de módulo fotovoltaico, transporte, instalación, etc.

Los costos secundarios previos son aquellos que se realizan al iniciar un proyecto de electrificación fotovoltaica en la ubicación de una o varias localidades, antes de la adquisición de componentes y organización, como son los estudios previos, organización local, diseño del proyecto, etc.

Los costos secundarios posteriores lo conforman las actividades posteriores a la instalación que garantizan la sostenibilidad del proyecto, como son la capacitación, servicio posventa, etc.

Además de estos costos, van de la mano algunos conceptos adicionales vinculados a algunos "puntos" importantes que tiene una tarifa, como por ejemplo:

- a) h: Número de SFD a partir del cual el precio de éstos es constante.
- b) k: Costo mínimo de un sistema fotovoltaico, $k = f(h)$.
- c) tc: Término vinculado al tiempo que demanda capacitar a un usuario.

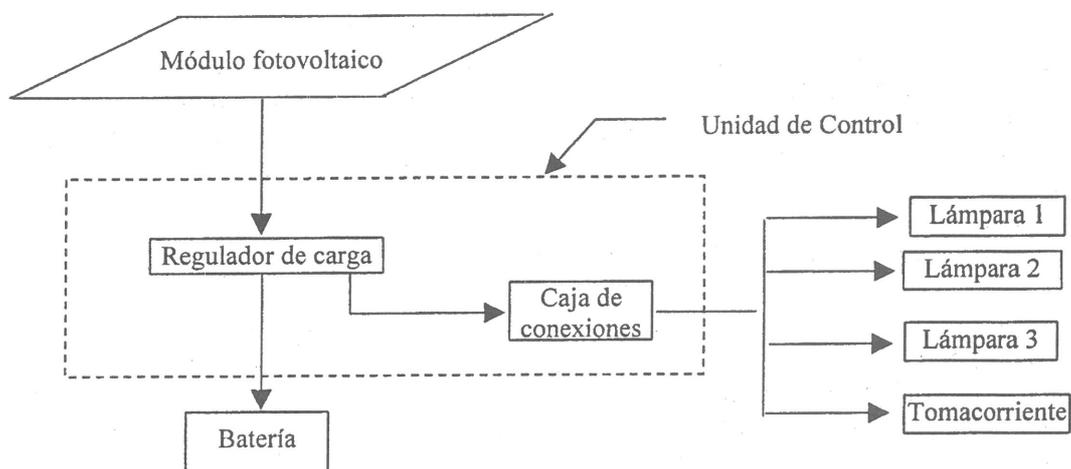


Fig.1 Sistema tecnológico fotovoltaico de referencia

Propuesta tarifaria

En esta primera etapa del trabajo por la complejidad de muchos de los factores que intervienen en la tarifa, se ha visto conveniente parámetro sus coeficientes para ciertas condiciones como son:

- a) Tasa de interés del 17%
- b) h de 10000 SFD
- c) t_c de 2 años

En la medida que se realicen todas las acciones antes mencionadas se tendrá una mejor respuesta en un proyecto de electrificación rural con energía fotovoltaica.

Muchos de los costos están en función de:

- a) El número de sistemas fotovoltaicos
- b) Ubicación de la localidad

- c) Acceso a la localidad
- d) Sostenibilidad

En función de estas variables algunos costos son mas o menos sensibles. A continuación presentamos la figura N°2 que nos ilustra sobre la tendencia de cada uno de los costos que involucran una tarifa.

La curva que representará el comportamiento en mayor o en menor medida los costos básicos, costos primarios, costos secundarios previos es la siguiente:

El sentido de la flecha indica el aumento del costo ya sea por cantidad de sistemas o por niveles de aislamiento.

La fórmula que representa las curvas de la fig. 2 es:

$$Y = \frac{\ln X (d X^p + b(t_c - t) X^q + 1,33 a X^r + c X^s + k X^l + f X^n) - 10 X^l}{X^l \ln X}$$

Donde:

- Y: Costos unitarios
- X : Número de SFD
- P,b, t_c , t, q, a, r, s, k, l, n, d y f son variables.
- c: 900

Estos coeficientes son validos considerando los cuatro rubros que conforman la tarifa para una tasa de interés del 17%, para h (número de SFD a partir del cual el precio es constante) igual a 10000 SFD y un tiempo crítico de 2 años.

Esta formula se emplea para el caso mas genérico, vale decir considerando todos los costos, de no ser así se tendrá que modificar estos coeficientes como se muestra en la tabla siguiente:

En la tabla 1 se adjunta los valores todas estas variables según sean los costos que se prevean considerar.

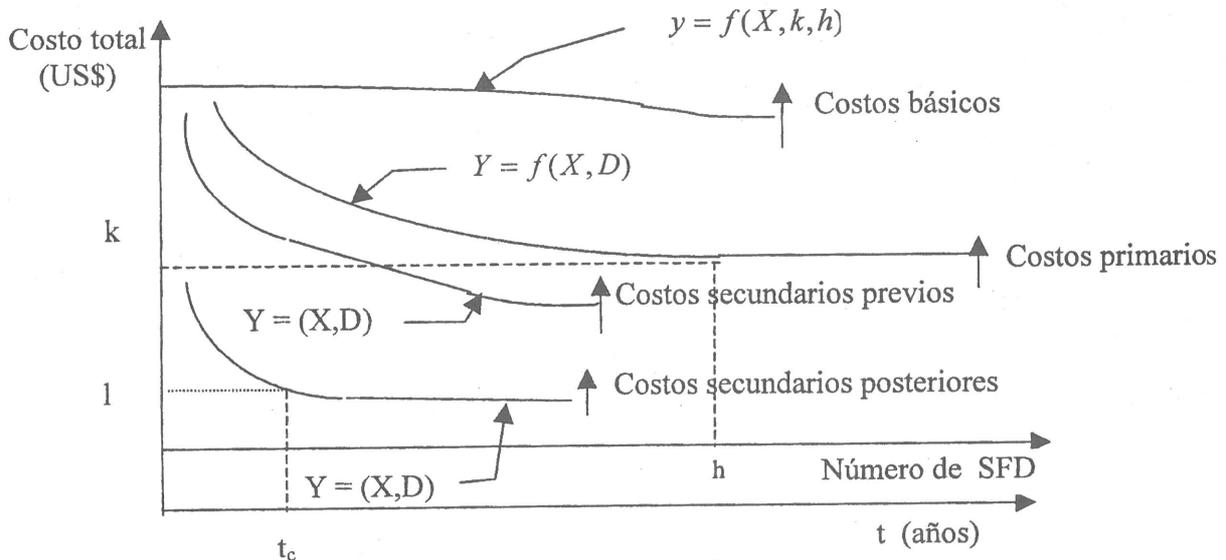


Fig. 2 Tendencia de los costos que intervienen en una tarifa

Tabla 1. Valores de las variables que intervienen en la fórmula de costos

Coef.	Localidad	CB	CB + CP	CB + CSPre	CB + CSPos	CB + CP + CSPre	CB + CP + CSPos	CB + CSPre + CSPos	CB + CP + CSPre + CSPos
a	Cercano	0	70	0	23,33	70	93	23	93
	Aislado		330		110,00	330	439	109	439
b	Cercano	0	0	0	25	0	25	25	25
	Aislado				165		165	165	165
r	Cercano	0	0,7	0	1,26	1,1	1,26	1,66	1,66
	Aislado				1,11		1,11	1,51	1,51
s	Cercano	0	0,22	0,4	0,78	0,62	0,78	1,18	1,18
	Aislado		0,33		0,74	0,73	0,74	1,14	1,14
q	Cercano	0	0	0	0,98	0	0,98	1,38	1,38
	Aislado				1,09		1,09	1,49	1,49
p	Cercano	0	0	0	1,42	0	1,42	1,82	1,82
	Aislado				1,38		1,38	1,78	1,78
l	Cercano	0,7	0,92	1,1	1,48	1,32	1,48	1,88	1,88
	Aislado		1,03		1,44	1,43	1,44	1,84	1,84
n	Cercano	0	0	0,7	0	0,92	0	1,48	1,48
	Aislado					1,03		1,44	1,44
f		0	0	33	0	33	0	33	33
d		0	0	0	244	0	244	244	244

Alcances y aplicaciones

Este trabajo es una primera aproximación para establecer una tarifa para la electrificación fotovoltaica doméstica en sistemas familiares dispersos, intenta de una manera sencilla a través de una fórmula que a su vez esta vinculada a una curva cuyas características son importantes establecer para una tarifa determinada para un grupo de sistemas fotovoltaicos en una localidad dada.

A continuación mostramos la aplicación de la fórmula antes mencionada para dos casos extremos y que para una mejor comparación se ha realizado el cálculo para un mismo número de módulos:

Caso 1

Localidad: Los Andes de Yanahuanca.

Condición: Aislado.

Costos a considerarse: básicos, primarios, secundarios previos y secundarios posteriores.

Número de sistemas fotovoltaicos: 50.

Elección de parámetros de la tabla 1.

Con estos valores (tabla 2) y reemplazando en la fórmula obtenemos que la tarifa anual será de US\$ 13,00 (1er año), US\$ 13,7 (2do año) y US\$ 13,00 (a partir del 3er año).

Caso 2

Localidad: Puerto Progreso.

Condición: Cercano.

Costos a considerarse: Básico, Primarios, secundarios previos y secundarios posteriores.
Número de sistemas fotovoltaicos: 50.
Elección de parámetros de la tabla 1.

Con estos valores (tabla 3) y reemplazando en la fórmula obtenemos que la tarifa anual será de US\$ 11,4 (1er año), US\$ 11,3 (2do año) y 11,3 (a partir del 3er año).

Tabla 2. Parámetros seleccionados - Caso 1	Tabla 3. Parámetros seleccionados - Caso 2
a: 439	a: 93
b: 165	b: 25
r: 1,51	r: 1,66
s: 1,14	s: 1,18
q: 1,49	q: 1,38
p: 1,78	p: 1,82
l: 1,84	l: 1,88
n: 1,44	n: 1,48
f: 33	f: 33
d: 244	d: 244

Algo sobre mercados fotovoltaicos

El mercado FV y su tamaño físico y económico y su capacidad financiera y su accesibilidad y su potencialidad y su consistencia y su sostenibilidad, es un complejo conjunto de problemáticas de importancia prioritaria. Finalmente es el punto de confluencia de la oferta, la demanda y la gestión. Es apoyo imprescindible para la sostenibilidad técnica tanto como para la provisión de bienes y servicios de la mejor o peor (no deseada) calidad.

No obstante la importante actividad FV en el Perú, aún no lo es tanto como para referirnos con toda propiedad al mercado FV peruano, el cual se encuentra

en formación y por lo tanto requiere de vigilancia y orientación extremas. Sin considerar las eventuales «compras FV masivas» del gobierno, los FV empleados en telecomunicaciones y los empleados por las FFAA para su uso, el tamaño actual del mercado FV peruano es estimado gruesamente en 1,0 a 2,0 MM US\$ al año lo que equivale a una potencia instalada entre 500 kWp y 100 kWp /5/.

Los programas de electrificación deben estructurarse siguiendo lineamientos que garanticen calidad y sostenibilidad futura. Los mercados (o el mercado) FV en el Perú tienen que ser creado a través de los proyectos o programas de electrificación masiva que impulse el gobierno o el sector privado incentivado por aquel, como lo ilustra la siguiente figura:

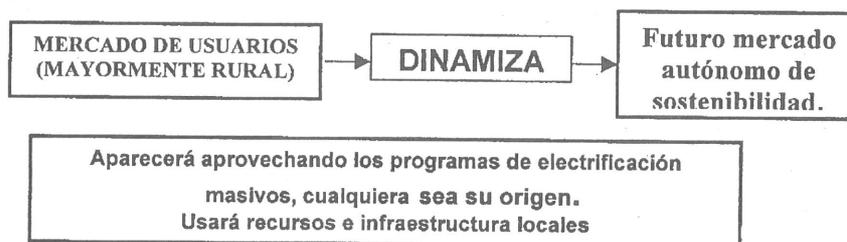


Fig. 3 Esquema ilustrativo de la generación de mercados por efecto de la implantación de programas de electrificación rural fotovoltaica

REFERENCIAS

1. Espinoza, R., "La Electricidad Fotovoltaica y su opción para Electrificación", ENERGÍA '98 Base del Desarrollo del Perú, pp 126-131, Memorias, Edición del Instituto Mario Samamé Boggio, Lima, 1998.
2. CER-UNI, Informe Técnico Final, Proyecto PAE-MEM/CER-UNI: Utilización de Energías Renovables en poblaciones rurales aisladas. Lima, 1996.
3. Bonda, J. C.; Strategic Aspects of RES Marketing, en Seminario de Negocios e Inversiones para Energías Renovables en América Latina; Memorias, Edición ICAEN, Generalitat de Catalunya, 1998.