

APLICACIÓN DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL DE VIVIENDAS INDÍGENAS DE MEXICO

Rodrigo Pérez Ramírez

Introducción

Aunque México tiene una cobertura del 96.5 % con respecto al suministro de electricidad, solo el 16.23 % de las viviendas indígenas cuenta con este servicio en las regiones indígenas (INEGI, 2005), esto constituye una situación crítica, ya que está asociado con la ausencia de las telecomunicaciones, la educación, los servicios de salud, y en muchos casos, el agua potable (SENER, 2007).

Esta situación propicia que los habitantes de estos sectores utilicen en forma intensiva la leña como principal combustible para los diversos usos finales (cocción, iluminación y calefacción), con los consecuentes daños que esto ocasiona, tanto a su salud como al medio ambiente (CONUEE, 2007).

Paradójicamente, y al igual que en muchos países de Latinoamérica, en México, las líneas de transmisión de alta tensión cruzan regiones donde la gente no tiene electricidad.

Hasta hace poco, las únicas opciones realistas para la electrificación rural en México fueron la extensión de la red y el uso de diesel en mini redes, sin embargo, en el caso del sector rural y algunas zonas marginadas de las ciudades, debido a los altos costos que representa el suministro de la energía, no ha sido posible el proveer a la totalidad de la población de electricidad (Ruíz, 1999).

Por otro lado, acceder a estos lugares extendiendo la red eléctrica convencional resulta en un incremento significativo de los costos. De hecho, la información de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) muestra que la colocación de la red en este entorno cuesta tres veces más de lo que costaría la colocación de sistemas no convencionales de energías alternas.

Según la Agencia Internacional de la Energía, incluso cuando existe la infraestructura para suministrar electricidad a los pobres, éstos muchas veces se ven incapaces de pagarla. Principalmente hay dos barreras: el coste inicial de conexión a la red y del cableado interior, que puede ser muy elevado para casas pobres y el pago mensual del consumo realizado; debido a que mucha gente pobre no gana un salario regular, es difícil para ellos mantener los pagos mensuales de la electricidad, no obstante, incluso cuando los sueldos son suficientemente elevados, muchas casas se desaniman a conectarse por la pobre calidad del servicio, incluyendo cortes frecuentes.

Ante este panorama y a la necesidad de encontrar mecanismos viables para proporcionar el servicio eléctrico en las regiones más marginadas del país, el Estado ha recurrido a la implementación de proyectos de electrificación rural usando energías renovables, tal es el caso del Proyecto de Servicios Integrales de Energía, financiado por el Banco Mundial para la electrificar viviendas aisladas en los estados de Oaxaca, Veracruz, Guerrero y Chiapas (SENER, 2007).

Este proyecto tiene como propósito dotar de electricidad a un aproximado de 2,500 comunidades rurales que no cuentan con servicios de energía eléctrica y que por su alto grado de dispersión y el escaso número de viviendas por comunidad, difícilmente serán integradas a la red eléctrica nacional. Se pretende

utilizar las tecnologías renovables que se adecuen mejor a las condiciones geográficas de la zona (SENER, 2007).

En su primera etapa, se han usado sistemas descentralizados de energía renovable, basados en el uso e instalación de sistemas fotovoltaicos aislados, conformados por (Gutiérrez Vera, 2001):

- Un panel fotovoltaico de 70 W, 4.2 Amperes, de silicio policristalino, orientado hacia el sur con un ángulo de inclinación de 15 grados.
- Una batería de plomo ácido tipo industrial de descarga profunda de 200 Amperios – Hora de 12 volts de corriente continua.
- Un controlador para regular el flujo de energía del panel a la batería
- Una caja de fusibles, herrajes y alambrado.

La decisión de proveer este tipo de instalación, ha sido porque existe un proveedor nacional que ofrece estos paquetes por 6, 000 y 4, 300 pesos (Gutiérrez Vera, 2001), dejando así de lado su funcionalidad por el coste económico, situación que ha provocado que dicho sistema tenga poca aceptación por parte de los usuarios, esto debido a diversas circunstancias, una de las principales es debido a que no se contempló ni se realizó un estudio técnico de la tecnología, toda vez que la producción energética proveniente de los paneles fotovoltaicos esta en dependencia de la radiación del lugar y de la estimación y comportamiento de demanda por parte de los consumidores, además de que este sistema solo puede suministrar energía eléctrica a 12 V en corriente directa (CD), lo que limita su uso a equipos que trabajen en este tipo de corriente y Voltaje, lo que dificulta además encontrar repuestos en el medio rural y personal técnico que realice el mantenimiento y las reparaciones necesarias en caso de falla.

Muchas de estas instalaciones fueron instaladas por medio de programas gubernamentales, como el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), BANOBRAS, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), la Universidad Nacional Autónoma de México (CIE-UNAM) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Sin embargo, aún existen muchas viviendas que por razones de dispersión y de comunicación aún no cuentan con planes aún con energía solar, comunidades prácticamente abandonadas y que por lo regular se localizan lejos de las cabeceras municipales en donde llegan los programas gubernamentales.

Ante tal contexto económico y en la ausencia de atención oficial, durante los años 2007 y 2008 se diseñó un proyecto de electrificación rural basado en el uso de aerogeneradores de baja potencia en la comunidad Zapoteca del Carrizal Paxtlán, agencia municipal ubicada dentro de las zonas prioritarias de atención del Estado.

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar la tecnología de diseño, fabricación e instalación de aerogeneradores pequeños para el cargado de baterías, focalizando la atención en viviendas indígenas. En la actualidad se han

instalado dos aerogeneradores y durante los próximos tres años se hará un trabajo de evaluación y sistematización de experiencias y su posterior difusión.

El concepto de tecnología apropiada

En primer lugar hay que señalar que este desarrollo tecnológico se realizó de acuerdo a las premisas de la Tecnología Apropiada (Martínez, 1992), es decir: primeramente, se identificaron las necesidades de los pobladores, la naturaleza y cantidad de los recursos naturales procesados para satisfacer las necesidades, los modos tecnológicos empleados y la accesibilidad tanto a recursos como a técnicas. En segundo lugar, se determinaron los recursos de la comunidad en la región (renovables y no renovables); en tercer lugar, se diseñó un proceso de ajuste para que con la mejor tecnología, empleando solo recursos renovables, dar cumplimiento a las necesidades identificadas previamente.

Es importante indicar también, que antes de hacer los diseños técnicos, fue necesario hacer un análisis de las necesidades del sector rural a fin de diseñar un modelo que por un lado ofrezca una solución al problema de la falta de energía de la población indígena rural y por otro lado que su costo esté al alcance al menos de una buena fracción de esta población.

Entre otros datos relevantes para el diseño, por ejemplo, se encontró que: los consumos en zonas rurales especialmente en aquellos hogares indígenas oscilan entre los 10 y 20 kWh al mes, que los ingresos anuales de la población está concentrada en el rango de \$ 9, 000 a \$ 10, 000 pesos por familia (con pocas excepciones), que las necesidades más urgentes de energía eléctrica para ese sector de la población es el alumbrado, pequeñas radios y TVs y muy eventualmente algunos artefactos pequeños.

Tomando en cuenta todos estos elementos y a la disponibilidad de recursos eólicos del sitio, se llegó a determinar que un aerogenerador de 100 W podría satisfacer medianamente estas necesidades, ya que un aerogenerador de esta potencia puede producir aproximadamente un promedio de 0.6 kWh de energía por día a velocidades moderadas de viento.

Diseño conceptual en base a necesidades

Durante la parte del diseño, la determinación de los parámetros del tipo social y económico formó parte del diseño conceptual de la máquina; en cuanto a la definición de los parámetros tecnológicos para el diseño de ingeniería, se definieron las características físicas de cada uno de los componentes principales y las respectivas tecnologías a utilizar. Asimismo, se definieron criterios generales como la necesidad de ciertos accesorios, el uso del sistema, la necesidad del mayor número de horas de operación posible, la cual está relacionada con la velocidad de diseño.

En virtud de lo anterior, el primer paso para llevar a cabo este proyecto fue tener una clara definición y entendimiento de los objetivos del proyecto, por lo que fue necesario estudiar las características, disponibilidad y aspectos económicos de las diferentes alternativas para la electrificación rural.

Existen 12 requerimientos específicos que deben ser satisfechos, los cuales definen ampliamente los criterios de diseño y proporcionan una base común para evaluar diferentes alternativas, así, la factibilidad del proyecto que hace mención

este documento fue ser medida contra los 12 objetivos que se enumeran a continuación:

1. Adecuado para cargas remotas: Se deben tomar en cuenta la logística para el suministro del combustible, instalación, operación y mantenimiento y tiempo de respuesta para la reparación de fallas.

2. Suministro de energía de la misma calidad que la de CFE: Se debe dar un particular énfasis sobre la calidad del suministro de energía eléctrica. La aceptación por parte de los usuarios de los sistemas eléctricos para la alimentación de cargas remotas dependerá de que tanto asemeja al suministro de red eléctrica convencional.

3. Mínimo costo de energía. La evaluación debe reflejar costos reales sobre la base del costo de la energía durante el ciclo de la vida útil del equipo.

4. Alta confiabilidad: Aspecto muy importante para lograr aceptación por parte de los usuarios.

5. Operación y mantenimiento. Una correcta administración de las labores de operación y mantenimiento sin duda redundarán en reducciones considerables de costes.

6. Operación desatendida: El sistema se debe diseñar con un grado de automatismo tal que haga innecesaria la presencia de un operador.

7. Aceptación local: Sin duda el requerimiento más importante, ya que de él depende de la instalación del sistema y la operación del mismo.

8. Seguridad: La seguridad de personas y equipos es fundamental para evitar accidentes y daños al sistema.

9. Duración: La duración del sistema es muy importante para las consideraciones económicas y aceptación del diseño.

10. Flexibilidad y facilidad para incrementar capacidad: Se deberá proveer la posibilidad de expandir el sistema en forma rápida y económica.

11. Condiciones ambientales diversas: El sistema deberá ser capaz de soportar severas condiciones ambientales.

12. Replicabilidad: El diseño, deberá ser fácilmente multiplicado tantas veces como sea necesario tomando en cuenta las variables que afecten al tamaño.

Así, el aerogenerador, en lo tecnológico queda conceptualmente definido a diseñar con las siguientes características:

a) Máquina "lenta" y con baja velocidad de diseño, ello permite más horas de trabajo al año, este criterio afecta especialmente el diseño de la turbina

b) Fabricación con materiales de la zona, siendo para ello lo más conveniente el uso de madera para los álabes, ya que facilitan su fabricación.

c) Generador eléctrico de imanes permanentes, la principal ventaja de este tipo de generadores es que trabaja en un amplio rango de velocidades de giro y por lo tanto se acoplan muy bien con las turbinas eólicas las cuales giran acorde a la velocidad de los vientos existentes en la zona.

d) Simplicidad para la instalación, operación y mantenimiento. Entre los elementos tomados en cuenta está el acoplamiento directo turbina-generador.

e) Almacenamiento de la energía generada, utilizando baterías automotrices de 12 V por ser las más comerciales y baratas.

f) La altura de la torre debe tener en cuenta todas las facilidades de instalación y la necesidad de la menor intervención posible de personal especializado para su montaje, de tal forma que pueda ser instalado por agentes de locales.

Factor clave en el diseño de aerogeneradores es la disponibilidad de recursos eólicos. La evaluación de los recursos eólicos se realizó en campo, para ello se utilizó un anemómetro digital Wind master 2, instalada a 6 metros de altura en la Comunidad del Carrizal Paxtlán, México. Fueron evaluados las condiciones energéticas eólicas del lugar con el fin de conocer los parámetros característicos del viento, que son el de forma K y de escala C de la ecuación de Weibull, cuyos valores obtenidos con el método de la desviación estándar y los registros de viento por un periodo de 6 meses son: Velocidad media 5 m/s, Desviación estándar 2,97, K=1,83 y C=5,85 (Pérez, 2008).

El diseño de esta máquina fue desarrollado utilizando las ecuaciones aerodinámicas correspondientes (Sánchez, 2000), utilizando perfiles estandarizados para la sección de los alabes y la necesaria compatibilidad entre los parámetros de la turbina con los del generador.

Resultados de la caracterización y evaluación del aerogenerador nos dan las siguientes características: Rotor con un diámetro nominal de 2.4 m, tres palas con perfil aerodinámico NACA 4412, Potencia nominal de 100 W, velocidad nominal de viento: 7,1 m/s, velocidad nominal del rotor: 260 rpm, velocidad de salida 13 m/s, generador con acople directo al rotor, trifásico de imanes permanentes, neodimio (NdFeB), con ocho pares de polos, conexión en estrella.

Los valores de eficiencia se determinaron utilizando la ecuación de eficiencia (Sánchez, 2008); este resultado es el valor de la eficiencia total del sistema, genera 100 W de potencia a la salida de los rectificadores con un viento de 7,1 m/s.

La sencillez de su construcción, la fácil y económica adquisición en México de los materiales necesarios para la construcción del aerogenerador, así como para la construcción de los moldes y plantillas previos, hacen muy factible la aplicación de este tipo de tecnología en el ámbito indígena de México. Respecto al coste económico de adquirir un aerogenerador de este tipo, hay que señalar que sólo un 15 % aproximadamente es debido a los materiales, y lo que dispara el precio es el coste de la mano de obra.

El coste total estimado para la construcción y puesta en marcha de este aerogenerador es de \$ 4, 662.13.

En cuanto a la instalación del aerogenerador en la comunidad con un viento moderado, se recupera la energía consumida en la construcción que incluye también adquirir y conformar las plantillas y los moldes, en un tiempo aproximado de 321 días de funcionamiento continuo. Un tiempo que se puede considerar pequeño para la vida útil de aproximadamente 10 años, que se espera del aerogenerador y los vientos a los que puede verse sometido en otras localizaciones que reducirían el tiempo de retorno energético en meses. Por tanto, se puede afirmar que el aerogenerador de imanes permanentes de Neodimio descrito en el presente proyecto, desde el punto de vista energético es totalmente sostenible y económicamente viable para el mercado de bajos recursos

contribuyendo así en el desarrollo energético de las comunidades indígenas aisladas de México.

Lecciones aprendidas

Hasta ahora se observa que el proceso de difusión del mecanismo depende críticamente de la participación de los miembros de la comunidad, los cuales, deben derivar su subsistencia de la difusión de la tecnología apropiada, de lo contrario el proceso de aceptación puede detenerse. Así mismo, se deberán buscarse formas de autofinanciamiento. De encontrarse estas, se podría formular un proceso de difusión hacia toda la región zapoteca que cumpla con las condiciones necesarias.

Por otro lado, en zonas rurales, es más interesante centrar la inversión más en aprovechar los recursos propios de cada zona, incluyendo combustibles fósiles, para hacer funcionar actividades de generación, siempre y cuando exista un estudio técnico detallado de las diferentes fuentes alternativas.

Las inversiones más pequeñas son más probables para proveer fondos y beneficiarán más a la gente pobre. La tecnología utilizada debería estar basada en la economía y en la disponibilidad natural de recursos. En zonas remotas, donde la distancia a la red es demasiado costosa como para conectar las comunidades a la red nacional o regional, los proyectos descentralizados son una opción. Lo que se necesita es una estrategia global, coordinando políticas y programas que por tecnología, economía y capacidad constructiva puedan llevarse a cabo.

La participación del usuario desde el proceso de diseño, construcción e instalación del aerogenerador fue fundamental, esto, desarrolló un sentido de propiedad del sistema en los usuarios y que lo cuidaran como si fuera suyo, así mismo, el desarrollo conjunto permitió transferir los conocimientos de diseño y operación del sistema, lo que facilitó la operación, mantenimiento y reparación del sistema en caso de fallas, situación que no sucedió con el sistema fotovoltaico promovido por el Estado debido a la complejidad de la tecnología.

Así mismo, un estudio detallado y riguroso de los recursos disponibles, del comportamiento de la demanda y el diseño realizado en base a estos resultados permitió construir un equipo capaz de suministrar la demanda provista, con una alta confiabilidad y capaz de incrementar su capacidad debido a su bajo coste.

Por otro lado, es conveniente aclarar que actualmente las energías renovables aún no pueden ofrecer la misma calidad de energía de la red convencional y sobre todo a bajo coste, situación técnica que aún queda pendiente por resolver e investigar.

Conclusiones

Sin duda, el consumo de energía es consubstancial al desarrollo económico y social de las poblaciones marginadas. El acceso a la energía permite mejorar las condiciones de vida, incluyendo mejoras en la salud, la alimentación y la educación.

Por lo pronto, la participación de los habitantes en el proyecto desde su concepción, diseño, construcción e instalación garantiza la aceptación de la tecnología y sobre todo coadyuva en el proceso de operación y mantenimiento, lo

que conlleva a la reducción de costes, su replicabilidad, confiabilidad y duración, ya que se involucran directamente con ella y la hacen suya.

Por otro lado, se está lejos de acceder a propuestas de solución a los problemas energéticos de las viviendas y de la comunidad; faltan muchos elementos para considerar que la aplicación de aerogeneradores de baja potencia autoconstruidos son una opción exitosa aplicable en muchas regiones.

Incluso se requiere una labor de investigación más a detalle, tanto en el mejoramiento del diseño de la máquina, como métodos de evaluación de recursos y estimación de demandas. Por esta razón no se pueden plantear por ahora conclusiones definitivas, excepto la de que se trata de un problema abierto, que requiere de mucho más esfuerzo y aporte crítico de la comunidad de los científicos y tecnólogos mexicanos.

Así mismo, en viviendas con una gran dispersión rural y donde no hay una infraestructura de distribución, utilizando energías renovables no sólo representa una opción viable, sino que, a menudo, es la única solución para proporcionar acceso a la electricidad.

Ante este panorama, la energía eólica comparada con otros tipos de alternativas energéticas renovables resulta competitiva frente a la fotovoltaica, la biomasa y la de generadores diesel.

También, es muy atractiva por su potencial de creación de trabajo y la facilidad con la que su tecnología puede ser transferida a microempresas locales, facilitando, así, las tareas de capacitación y la promoción de los mecanismos de mercado que, si son debidamente diseñados y complementados con medidas reguladoras, pueden contribuir a solucionar la crisis energética y a la vez que contribuyen a la protección del medio ambiente.

Es importante comentar que se ha tenido en cuenta que la generación de energía eléctrica es en un lugar determinado con un viento medio determinado y que este factor determina de manera importante la energía media diaria generada, de manera que si se tiene en cuenta que la fase de funcionamiento se va a llevar a cabo en otra localización, la generación de energía será diferente y por tanto el tiempo de retorno y la viabilidad energética también.

Además, se llegó a la conclusión de que la electrificación rural no puede ser un laboratorio donde se ensayen las nuevas tecnologías, sino que se debe primar la robustez y fiabilidad de los elementos instalados para reducir al máximo las necesidades de recambios no siempre fáciles de encontrar in situ. Dicha situación se refleja en el programa de electrificación rural promovida por el Estado, en donde la decisión de instalar sistemas energéticos renovables va muy ligada al coste de los mismos y no por la factibilidad técnica, dejando de lado el cumplimiento de los criterios de diseño para electrificación rural antes discutidos.

Ante este hecho, la poca aceptación por parte de los usuarios es debido a que la introducción de la tecnología convencional moderna (renovable en este caso), no ofrece grandes perspectivas de mejoramiento dado que sus valores de eficiencia energética resultan comparables a las eficiencias de las técnicas locales de la comunidad.

REFERENCIAS

- AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA. World Energy Outlook 2002. [http://www.iea.org/textbase/npsum/WEO2002SUM.pdf, Mayo 2006]
- GUTIÉRREZ VERA, Jorge. 2001. Energía renovable en el siglo XXI. Senado de la República. Primera Edición. México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), XI Censo de Población y Vivienda, México 2005.
- MARTÍNEZ NEGRETE, MA. Ciencia y tecnología para una comunidad rural. Revista Mexicana de Física 38, No 4 (1992) 611-686.
- PÉREZ RAMÍREZ, Rodrigo. Diseño y construcción de un pequeño aerogenerador de 100 W para su aplicación en zonas indígenas de México. La Ingeniería Agrícola – Motor del Desarrollo de la Agricultura Mexicana, Universidad Autónoma Chapingo, México. ISSN 978-607-12-008-02.
- RUIZ GUILLÉN, Javier. Electrificación de comunidad rural situada en país en vías de desarrollo mediante energías renovables. Tesis de grado, Universidad de Cali, Colombia, 1999.
- SÁNCHEZ CAMPOS, Teodoro y Ramírez Atahui Saúl. Desarrollo tecnológico de micro generadores eólicos. ITDG (Intermediate Technology Development Group) 2000.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), Energías Renovables en México, México 2007.