



Juan Pablo Uribe C.
Alvaro Pinilla

Resumen

Estudio sobre la viabilidad técnica y económica de uso de sistemas híbridos para la generación de energía eléctrica

INTRODUCCION

El siguiente trabajo está dirigido al estudio de la aplicación de sistemas eólico-solares en Colombia.

Durante el año de 1992 y el primer trimestre de 1993, el país sufrió la peor crisis de suministro de energía eléctrica en los últimos treinta años, debida al crítico nivel de los embalses y también a la ineficiencia de la planeación y ejecución de proyectos necesarios para cubrir la demanda energética con la suficiente confiabilidad en el sistema. Esta situación hizo ver la ineficiencia presente y concientizó al Gobierno de la necesidad de reformar el sistema tradicional de generación

y distribución de energía de ese momento.

El resultado fue el desarrollo de las leyes 142 y 143 de 1994 en el cual se deja una puerta abierta para la participación de los inversionistas privados, para que estos pueden estar presentes en nuevos proyectos de generación y comercialización de la energía eléctrica.

No se podría conocer las razones por las cuales, teniendo las garantías dadas en estas leyes, no se ha decidido realizar proyectos de generación de energía basados en los sistemas híbridos, pero se podría especular en la falta de capital de los inversionistas, y desafortunadamente para el país



Juan Pablo Uribe C.

Alvaro Pinilla

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

DPTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
BOGOTÁ, 1996

el hecho que sean proyectos de costo y capacidad menor comparán-dolo con una hidroeléctrica o con una termoeléctrica no vincula a la clase política, ya que de estos proyectos no se podría sacar recursos financieros por medios ilegales.

Es una triste realidad la que se vive en el país, se podría citar el siguiente ejemplo: en Bogotá existe una fábrica de molinos de viento para el bombeo de agua (Metálicas Indusierra), la cual los vende a un precio aproximado de

US\$4.000 por unidad. En la Guajira, se licitó uno molinos con este fin, y la propuesta que resulto ganadora fue, una firma argentina que hace 40 años había llevado los molinos a la Guajira. En ese entonces gobernaba el General Gustavo Rojas Pinilla, y la explicación que dio el gobernador actual, a la empresa bogotana fue porque como en esa época el "Presidente y sus molinos" se habían hecho famosos, él no iba a correr el riesgo de involucrarse en un proyecto que no le representara reconocimiento (en otras palabras, votos) de sus gobernados. Sobra decir que los molinos argentinos tenían un precio cercano a los US\$15.000.

Si se deseara conocer las variables que afectan la realización de un proyecto basado en las fuentes de energía renovables, se podría tener una lista innumerable. Es así como se requiere información acerca de la red actual de transmisión y generación de energía eléctrica, acerca de la legislación sobre producción y comercialización privada de electricidad, acerca de los sistemas de generación de electricidad por medio de fuentes renovables que actualmente se encuentren en el mercado, para plantear un modelo en el cual determine, por medio de parámetros financieros la viabilidad de una inversión de este tipo.

Desafortunadamente, hay variables que no se pueden controlar o predecir, ya que tienen un carácter propio de la sociedad y cultura, en qué medida se pudiesen predecir?, es un asunto incierto, ya que dependen de la coyuntura que se esté

viviendo en el país actualmente. Pero lo que si se puede intentar, es resaltar los puntos claves que influirían en la realización de un proyecto, basado en las energías renovables.

TRABAJO PREVIO EN EL TEMA

Desafortunadamente es muy poco lo que se ha realizado en Colombia acerca de sistemas híbridos de generación de energía. En parte se debe a la capacidad de generación de energía por medio de los recursos hidráulicos con que cuenta el país. Se cuenta en el departamento de La Guajira con un sistema demostrativo solar fotovoltaico-diesel con una capacidad de 12 kW. (1)

Este sistema instalado en el Hospital de Nazareth, trata de garantizar el suministro de electricidad para el lugar. Las necesidades de este establecimiento requerían de la continuidad del suministro en algunos equipos básicos como

respiradoras e incubadoras, y anteriormente se utilizaba plantas diesel para generar la electricidad, el problema surgía cuando por el invierno el carrotanque de reabastecimiento no podía llegar al lugar. Los componentes del sistema híbrido son los siguientes:

Generador Solar : consta de 80 módulos fotovoltaicos, con una potencia nominal total de 6 kWp. Existen 20 arreglos, cada uno con 4 módulos conectados en serie.

Plantas diesel : el hospital cuenta con tres plantas diesel, con las siguientes características :

- No. 1: Perkins, de 48 kVA.
- No. 2: Lister, de 30.5 kVA
- No. 3: Lister, de 16 kVA.

Banco de baterías: se tienen 24 del tipo estacionario con una capacidad total de 2370 Amp-hora.

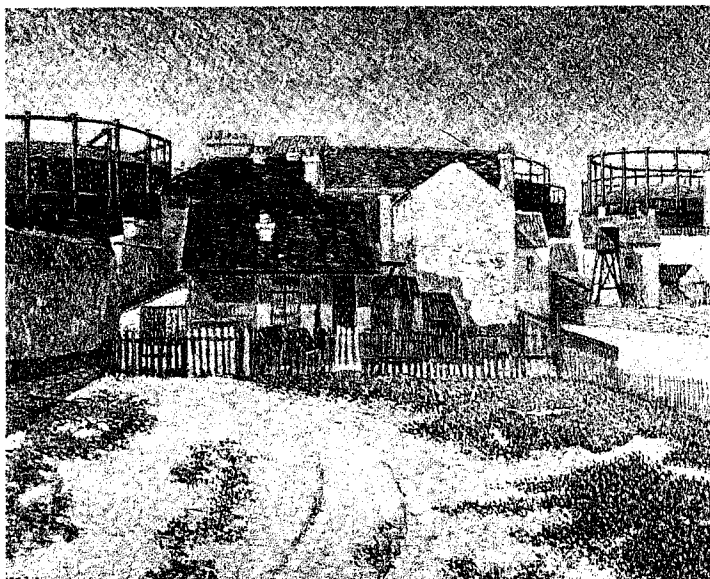
Regulador: fabricado por Ananda Power Technology, es del tipo APT5-444, permitiendo controlar la corriente que carga las baterías, dependiendo si es de las plantas diesel, la red o del generador solar.

A su vez controla la corriente de descarga de la batería.

Inversores-cargadores: se cuenta con tres, marca Trace Engineering, modelo SW-4048, cada uno con una potencia de 4000 W.

El costo del anterior proyecto fue cerca de 94 millones de pesos y se realizó en un lapso de 114 días. Poniéndose en funcionamiento a finales del mes de abril de 1995.

Vale la pena mencionar otro proyecto que utiliza la energía solar como fuente energética. Este proyecto es el Centro Solar Comunal de La Venturosa, en el Departamento del Vichada, el cual provee de electricidad a 13 usuarios, un centro de



salud y una escuela durante las 24 horas del día. Los componentes del proyecto son:

Generador Solar: consta de 46 paneles de 60 Wp, para un total de 2.76 kWp.

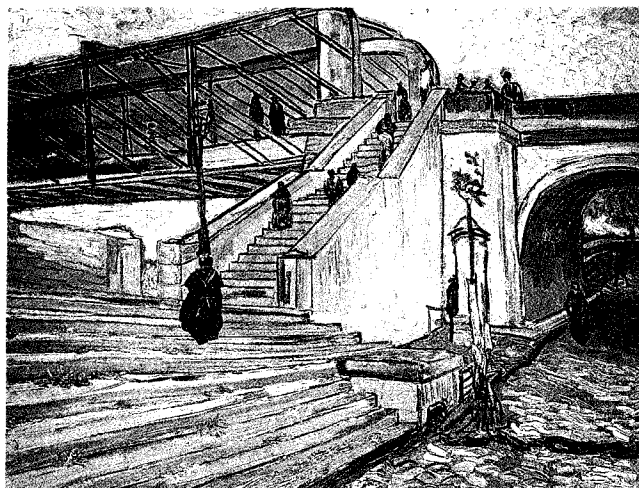
Banco de baterías: 12 baterías del tipo estacionario con una capacidad total de 1060 Amp-hora.

Centro de control, regulación y medición: tiene una capacidad de manejo de 3360 W a 24 Vdc, de marca Infinity. Mide y graba información como corriente, voltaje, energía y eficiencia del generador solar, las baterías y la carga.

Inversores: se tienen 2 de marca Trace Engineering, modelo DR15724 con 24 Vdc a la entrada y 120 Vac a la salida, con una capacidad individual de 1.5 kW
Red de distribución: la red de distribución local esta a 120 Vac, es de tipo monofásica, y cuenta con alumbrado público empleando bombillas eficientes de 18 W cada una.

El proyecto costo cerca de 35 millones de pesos y fue llevado a cabo por la firma Solar Center, se entrego en 90 días. Además por medio del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL), se han instalado cerca de 370 sistemas solares individuales, los cuales constan de un módulo fotovoltaico de 51-53 Wp, una batería de 60-72 Amp-hora, un regulador de 12 A, uno o dos tomacorrientes y 2 a 3 lámparas fluorescentes. Cada uno de estos sistemas se encuentra instalado en igual numero de familias, en los Departamentos del Vichada, Guaviare, Guanía, Vaupés y Amazonas.

A continuación se presenta apartes importantes de un estudio de evaluación, realizado a Caso de La Venturosa (2). Esta inspección se caracteriza por tener una insolación global promedio de 5.3 kWh/m² por día.



Desafortunadamente, no se ha realizado una evaluación continua y rigurosa del desempeño del sistema. Lo que hasta el momento se ha hecho, por parte de la División de Energías Alternativas del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas es un seguimiento de la operación del sistema. Recopilando información fragmentada de la central de los meses de agosto y diciembre de 1995 y de enero de 1996.

Los registros se obtienen del contador Infinity, tomándolos periódicamente de los acumulados en Amperios-Hora de corriente generada por los paneles fotovoltaicos, de la corriente de carga y descarga del banco de baterías, y de la corriente de consumo.

Parte de la evaluación realizada, fue coordinada con la firma SOLAR CENTER que tuvo a cargo el diseño del sistema, permitiendo de este modo el conocimiento básico necesario del funcionamiento de los equipos instalados. En cuanto a las actividades de mantenimiento, la firma que ejecuto el proyecto chequeo el sistema en julio de 1995, realizando labores rutinarias como limpieza de paneles, nivel de agua y estado de carga de las baterías y mantenimiento preventivo como revisión de conexiones eléctricas, estructuras de soporte y adecuación de la puesta a tierra. El estudio utilizo únicamente los

datos registrados entre el 10 y el 27 de enero de 1996, tomados a intervalos de una hora (entre las 7 a.m. y las 9 p.m.), teniendo en cuenta que estas lecturas son las menos fragmentadas, permitiendo así detectar más fácilmente máximos y mínimos de la carga generada o demandada.

Durante el periodo de evaluación de 252 horas, el valor acumulado de energía generada por los paneles fue 78.98 kWh, mientras que el consumo demandado fue 54.45 kWh, quedando la diferencia de estos dos valores como energía almacenada en el banco de baterías.

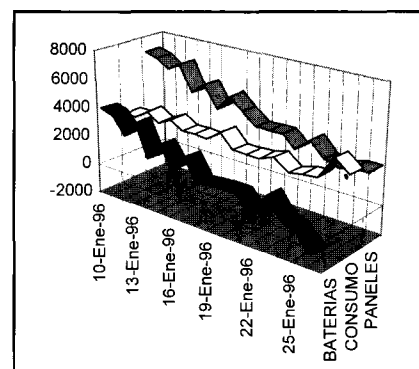


Gráfico 1: Acumulado de Energía (Wh), La Venturosa

Durante este mismo periodo, el promedio diario de energía generada es de 4.4kWh/día, y el del consumo es de 3.02 kWh/día. El mayor consumo se registra el día 26 de enero con 4.1 kWh/día, y la

mayor generación tiene lugar el día 10 de enero con 6.94 kWh/día. Se pudo observar, que el valor máximo de potencia generada diariamente con un valor de 720 W ocurre en promedio hacia las 9 de la mañana, decreciendo hacia las horas de la tarde. Como se muestra en el gráfico 2.

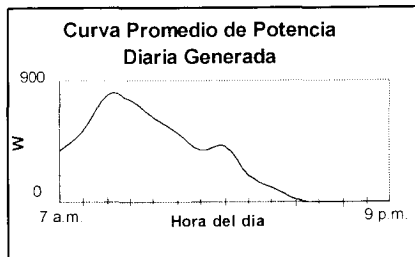


Gráfico 2

El comportamiento del banco de baterías, muestra la tendencia diaria de carga y descarga de las baterías, si se mantiene esta tendencia, la vida útil de las baterías se prolongará, ya que estas dependen del número de ciclos a los que estén expuestas por día.

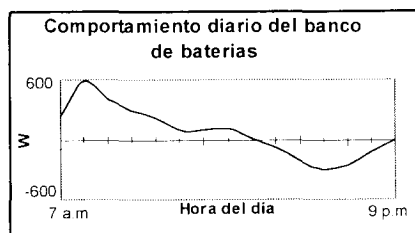


Gráfico 3

La curva promedio de la demanda registra un valor máximo de 304 W a las 5 p.m. Esta misma curva presenta un factor de carga de 0.53. La demanda promedio de potencia fue de 162.3 W y la de energía de 2.27 kWh.

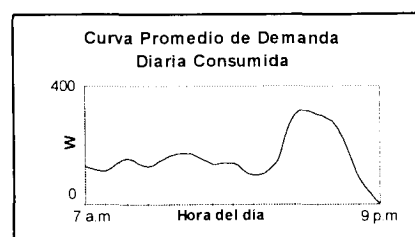


Gráfico 4

De este estudio se puede concluir que, es necesario recopilar más información, aprovechando los recursos disponibles como el datalogger, ya que con la que se tiene no se puede hacer una evaluación confiable del desempeño del sistema, ni de los factores que puedan comprometer el sostenimiento del sistema en el largo plazo. Aunque al parecer, técnicamente el sistema ha venido desempeñándose bien, es recomendable conocer sobre el nivel de satisfacción de los usuarios.

Por otro lado, los factores de utilización bajos pueden indicar un sobredimensionamiento del sistema, aspecto muy importante debido a que se invirtió gran capital en un proyecto que no está siendo aprovechado en su total capacidad.

Es interesante ver así mismo, el desarrollo que se ha hecho de los sistemas híbridos a nivel mundial, por tal motivo se presentan a continuación algunos ejemplos donde se han utilizado como solución a los problemas que se tenían en un comienzo.

Caso 1. El pueblo de X-calac está localizado en la costa de la bahía Chetumal, en la península de Yucatán. Es una aldea pesquera y turística subdesarrollada de cerca de 250 habitantes.

Las líneas de transmisión más cercanas están a 110 km. Y el costo de extender la red hasta X-calac ha sido estimado en cerca de \$3.2 millones de dólares. Anteriormente la electricidad era obtenida a través de generadores diesel, que no garantizaban un buen servicio.

En 1992, el pueblo fue re-electrificado con un costo aproximado de \$450.000 dólares, por medio de un sistema híbrido eólico solar, consistente de seis turbinas de viento de 10 kW y un arreglo PV de 11 kW. El sistema también consta de un gran banco

de baterías (400 kWh) y de un inversor estático de 40 kW. Hasta mediados de 1995, el sistema no tenía trabajando el generador diesel de reserva, de manera que toda la electricidad se obtenía solamente del viento y del sol. Aun ahora, el generador diesel no es usado frecuentemente debido a los altos costos de operación.

El sistema se ha desempeñado bien técnicamente, sin embargo la corrosión debido a la sal ha sido un problema. Desafortunadamente, no se puede satisfacer la demanda local, ya que el consumo ha crecido más de tres veces de las proyecciones iniciales, debido al hecho de que a los habitantes no se les cobra por la electricidad.

La electricidad está disponible de 8 a 16 horas en el día, dependiendo primordialmente de los recursos eólicos. El viento proporciona cerca del 85% de la electricidad generada.

El sistema es ampliamente monitoreado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de E.E.U.U. y por Sandia National Labs. Para conocer el desempeño de los sistemas híbridos en áreas rurales. Otras trece poblaciones mejicanas están usando sistemas eólicos.



Gráfico del Caso 1

Caso 2. La Mobil Oil Corporation desarrolló una planta desalinizadora de agua que utiliza un sistema FV para proveer electricidad a las instalaciones. El sistema tiene un arreglo de paneles solares de 8.5 kWp y baterías de almacenamiento. La planta cuenta con equipos de purificación primarios y

secundarios, equipos de bombeo y equipos de almacenamiento para agua potable que se suministra a los habitantes de una población del desierto.



Gráfico del Caso 2

Caso 3. En un puesto de telecomunicaciones de la compañía Welsh Water en Gales, Reino Unido, se instalaron dos turbinas eólicas de 1.5 kW. El sistema de comunicaciones une la oficina principal de la compañía con los trabajadores y el equipo en el campo.

El sistema de energía también incluye un arreglo fotovoltaico (FV) de 3 kW y un generador diesel de reserva. En este caso se muestra la alta confiabilidad y eficacia de un sistema híbrido, combinando los recursos eólicos en invierno cuando el viento es fuerte y la energía solar es pobre, y haciendo lo contrario en el verano cuando el sol es más aprovechable debido a las bajas velocidades del viento. Además el consumo de combustible se mantiene en un mínimo, proporcionando energía de manera confiable durante todo el año.

En este caso en particular, la energía eólica es una excelente fuente de electricidad, debido a la altitud a la cual debe estar colocada una antena de telecomunicaciones, pero a su vez se debe tener cuidado, al escoger el diseño de torre, con las condiciones tan severas que se puedan encontrar en las montañas.

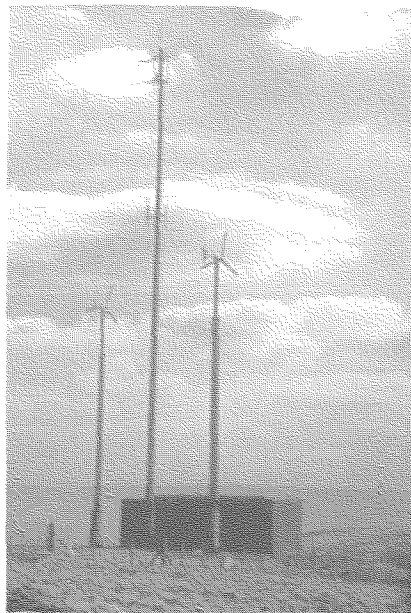


Gráfico del Caso 3

Caso 4. En la isla Pebble (Islas Malvinas), al sur de la costa de Argentina, en una granja ovejera se encuentra, instalada una turbina eólica de 10 kW. Los recursos eólicos son excelentes y por ende la cantidad de electricidad producida es bastante. Este sistema híbrido eólico/diesel alimenta a cuatro casas y un pequeño hotel.

El sistema fue instalado en 1988 y ha funcionado sin problemas. En un principio se instalaron dos inversores estáticos que resultaron insuficientes y por lo tanto el sistema era de poca confiabilidad hasta 1994. Actualmente el sistema cuenta con un inversor avanzado de 20 kW y funciona perfectamente.

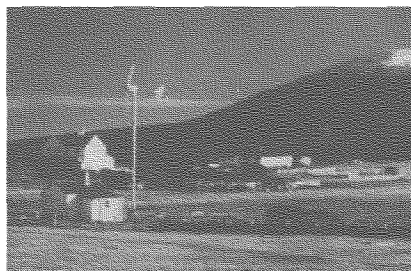


Gráfico del Caso 4

CONSIDERACIONES TEORICAS

Con la reforma constitucional de 1991 (3), (4), se plantearon las bases para el desarrollo de nuevas leyes para el sector eléctrico. En su artículo 365 se establece que "los servicios públicos podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas o por particulares". Además en la Constitución Política Colombiana (CPC), están los criterios constitucionales que rigen la prestación de los servicios públicos. Dentro de dichos criterios se pueden enumerar:

- Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios (artículo 365 de la CPC).
- En todo caso el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios (artículo 365 de la CPC).
- La Ley fijará las competencias y responsabilidades a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, su calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta, además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos (artículo 367 de la CPC).
- La Nación, los departamentos, los distritos, los municipios y las entidades descentralizadas podrán conceder subsidios en sus respectivos presupuestos para que las personas de menores ingresos puedan pagar las tarifas de los servicios públicos domiciliarios que cubran sus necesidades básicas. (artículo 368 de la CPC)

La función del Ministerio de Minas y Energía es elaborar cada cinco años un plan de expansión de la cobertura del servicio, determinando las inversiones públicas y que deban realizarse y las privadas que deban estimarse. Para tal labor se cuenta con la Unidad Administrativa Especial de Planeación Minero-Energética. La regulación se realiza por medio de la Comisión Reguladora de Energía y Gas combustible (CREG)

CARACTERISTICAS DEL SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL

En el año de 1995 la capacidad efectiva fue de 10,063 MW, distribuida en 7,838 MW en plantas hidráulicas y 2,225 MW en plantas térmicas, permitiendo atender una demanda máxima de potencia de 7,130 MW (presentada el 6 de diciembre), con una disponibilidad promedio durante 1995 de las plantas hidráulicas del 85.2% y de las térmicas del 70.1%. Este factor de disponibilidad térmica fue mayor al de los años 1994 (68.5%) y 1993 (67%).

La demanda de 1995 fue 41,967 GWh con un crecimiento del 5.5% con respecto al año anterior. La generación hidráulica totalizó 31,771 GWh con un factor de utilización de 0.46. Se generaron 9,803 GWh con plantas térmicas con un factor de utilización del 0.49. El incremento sustancial en la generación térmica en los dos primeros meses del año llevó a una disminución notable de las reservas de combustible que se recuperó rápidamente en los siguientes meses.

MODELAJE DEL RECURSO EOLICO

La cantidad de energía eléctrica que se pueda obtener empleando turbinas de viento se puede determinar empleando la siguiente relación:

$$\text{Nivel de Energía} = \text{Régimen de Vientos} \times \text{Potencia de Turbina}$$

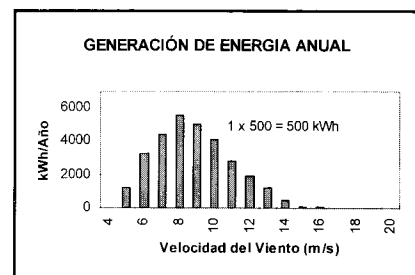
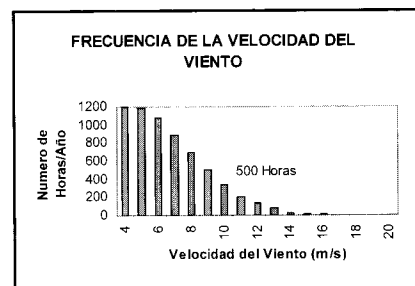
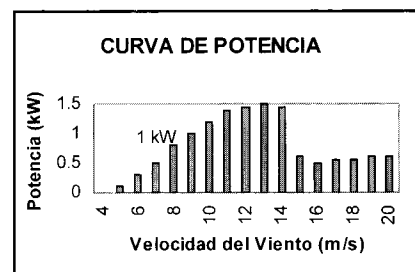
La potencia de la turbina es la característica de operación de la misma, generalmente expresada en kilovatios (kW), además se pueden encontrar factores relevantes como Velocidad de Entrada a Generar (Vin), Velocidad de Rateo (Vr), Velocidad de Salida (Vout) y Potencia Nominal, la cual es la potencia a la Velocidad de Rateo. Esta información es suministrada por el fabricante de la turbina.

El régimen de vientos será la característica de los vientos en cuanto a rango de velocidades y frecuencia de ocurrencia de los rangos. La frecuencia de ocurrencia en un periodo, es la que determina el periodo de evaluación del Nivel de Energía. Esta información generalmente se puede obtener de los datos reportados por el servicio de meteorología, que para este caso sería el IDEAM.

Desafortunadamente la información que posee este instituto, es de dudosa confiabilidad, ya que las mediciones no se hacen con exigidos para poder determinar el recurso eólico de la zona, esto influirá entonces en la veracidad de los datos de energía generada para el lugar; además no se lleva un registro histórico completo de las mediciones. El nivel de energía usualmente expresada en kilovatios hora por periodo de

evaluación, es la que se obtiene al multiplicar los dos elementos anteriores.

Existe un método gráfico para determinar el nivel de energía, que es muy sencillo y fácil de aplicar si se cuenta con la información requerida, como se muestra a continuación:



En esta tres gráficas, se puede ver como se calcula el nivel de energía eléctrica, por medio de la multiplicación de las dos primeras. La curva de potencia, es de una turbina Bergey 1500, que a una velocidad de 9 m/s producirá 1 kilovatio. En un sitio con una velocidad promedio del viento de 5.5 m/s y con esta distribución de frecuencias, los vientos de 9 m/s ocurrirán de 500 horas en el año. Esta clase de vientos contribuirán en 500 kWh de nivel total de energía que puede generar el sistema. Mientras que toda la energía entregada por la turbina, es el área bajo esta última curva. Como se puede observar este método es muy fácil, pero a su vez sería demasiado largo y tedioso, calcular los niveles de energía para las innumerables situaciones con las que se puede encontrar en la realidad, ya que se tienen diferentes combinaciones entre el régimen de vientos y las turbinas de viento. Por tal motivo se emplea un método basado en un análisis adimensional, donde el régimen de vientos se ajusta estadísticamente por la función de densidad de probabilidad de Weibull y el comportamiento del equipo se adimensionaliza dividiendolo por la velocidad promedio del lugar (v) donde se este realizando el estudio. De esta manera, se tiene:

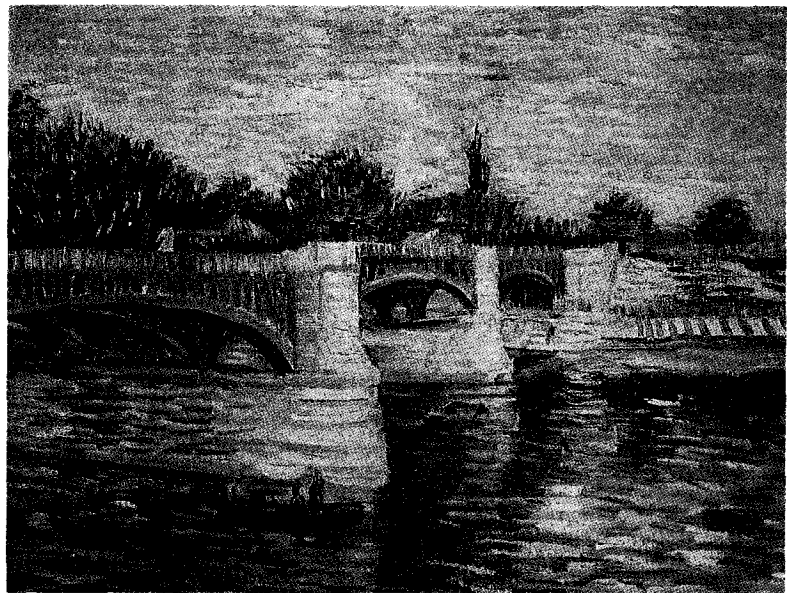
- Debido al adimensionamiento, en toda ecuación:

$$x = \frac{v}{\bar{v}}$$

- Para el régimen de vientos, utilizando la función de Weibull:

$$f(x) = k \cdot G \cdot x^{k-1} \cdot \exp(-G \cdot x^k)$$

donde k es el factor de forma de Weibull, que generalmente varía entre 1 y 3.5; G es el factor de escala de la función, y se puede calcular como:



$$G = 0.568 + \frac{0.434}{k}$$

- Para las turbinas eólicas, su curva de potencia se puede aproximar a: (ver curva de potencia)

$$P(x) = \text{Pr} \cdot \left\{ \frac{x - x_{in}}{x_r - x_{in}} \right\} \quad x_{in} \leq x \leq x_r$$

$$P(x) = \text{Pr} \quad x_r \leq x \leq x_{out}$$

donde Pr es la potencia de rateo o potencia nominal de la turbina, y los subíndices se refieren a los datos característicos de velocidad adimensionados como se explica anteriormente.

Por lo tanto, la energía que se podría obtener sería:

$$\text{Energía} = T \cdot \int_{V_{in}}^{V_{out}} P(v) \cdot f(v) \cdot dv$$

donde T es el periodo de evaluación del sistema. Como la función de potencia para la turbina esta definida por partes, tenemos entonces:

$$\text{Energía} = T \cdot \int_{v_{in}}^{v_r} P(v) \cdot f(v) \cdot dv + T \cdot \int_{v_r}^{v_{out}} P(v) \cdot f(v) \cdot dv$$

Al realizar el adimensionamiento, se obtiene:

$$\text{Energía} = T \cdot \int_{x_{in}}^{x_r} P(x) \cdot f(x) \cdot dx + T \cdot \text{Pr} \cdot \int_{x_r}^{x_{out}} f(x) \cdot dx$$

si se define la relación entre la energía suministrada por la turbina y lo que se generaría operando a la potencia nominal durante el número de horas de la evaluación del proyecto como el factor de planta, se tendría:

$$\frac{\text{Energía}}{T \cdot \text{Pr}} = \text{Factor de Planta} = F \cdot P$$

y después de calcular todas las integrales posibles, se llegaría a la siguiente expresión:

$$F \cdot P = \frac{1}{x_r - x_{in}} \cdot \int_{x_{in}}^{x_r} \exp(-G \cdot x^k) \cdot dx - \exp(-G \cdot (x_{out})^k)$$

Si se multiplica $F \cdot P$ por 8760, se obtendrá el nivel de energía, que se puede obtener por año. A continuación, empleando valores característicos de la turbina Bergey Excel, y variando las velocidades promedio de los vientos entre 3 y 15 m/s, se obtiene datos del factor de planta, y de la entrega específica, la cual representa el nivel de energía que se puede obtener de acuerdo a la potencia nominal de la turbina. Con estos datos se pueden generar gráficas como la siguiente, con el fin de facilitar el entendimiento y futuro uso de las mismas, para la determinación del

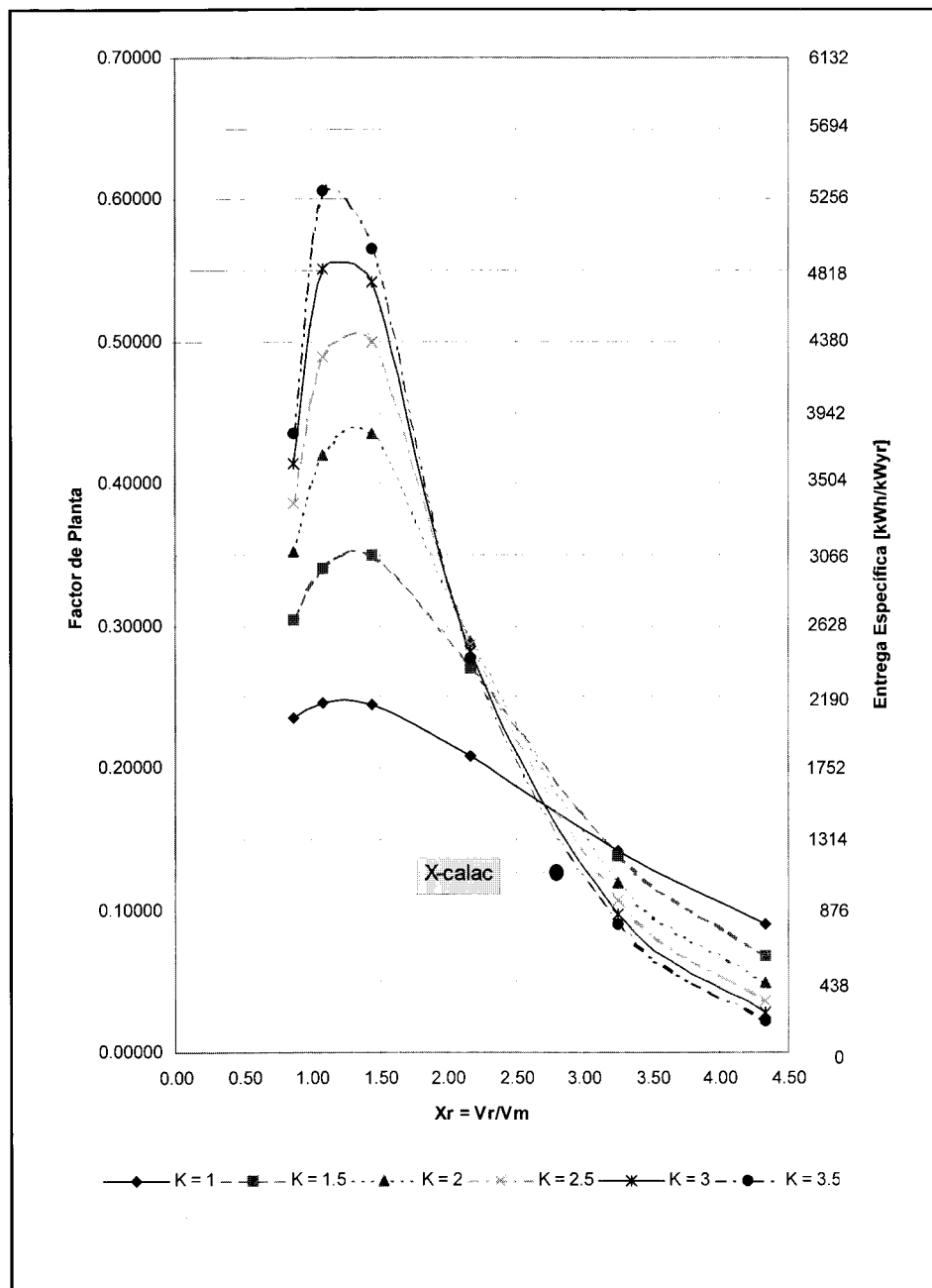


Gráfico 5

factor de planta y del nivel de energía que se pueden obtener en determinado sitio con un sistema eólico comercial.

Si se observa detalladamente la gráfica, se ve un punto negro que determina el factor de planta y la generación que realizó el sistema híbrido de **(5)** X-Calac (México), según los datos de un estudio de evaluación de un año se puede ver que el promedio de

generación de las turbinas fue de 9633.216 kWh; observando la ficha de desempeño de esta turbina según su fabricante y para la velocidad promedio del lugar, la generación anual de energía estaría en un rango entre los 10,000 y los 13,600 kWh; y observando las gráficas de entrega específica, con X_r igual a 2.76 se ve que la generación anual de energía estaría en un rango entre los 11,000 y los 16,000 kWh. Esto es:

	kWh
Generación según datos reales	{ 9,045 - 10,135 }
Generación según el fabricante	{ 10,000 - 13,600 }
Generación según el método	{ 11,000 - 16,000 }

De este modo se puede aceptar la gráfica y se muestra la validez parcial del método empleado.

CONCLUSIONES

Las poblaciones rurales del país se hallan muy dispersas entre sí y aisladas del resto del país, razón por la cual la interconexión al sistema eléctrico central es casi imposible. Aún contando con la capacidad de generar la energía eléctrica por medio de plantas hidroeléctricas o termoeléctricas, los costos de extensión de red serían muy altos. Se debe resaltar la importancia de los sistemas híbridos como soluciones a los inconvenientes observados.

La información con que cuenta el país, acerca de los regímenes de viento reales no es precisa, y la poca información que se tiene no es recopilada de la manera como se esperaría para emplearla en un proyecto con sistemas híbridos. Se recomienda la elaboración de mapas de regímenes de viento para el país.

Debido a que las Leyes 142 y 143 de 1994 son relativamente nuevas, su conocimiento por parte de la comunidad es muy vago. Es importante a muy corto plazo la promoción y asistencia a todo nivel comunitario sobre lo relacionado en estas leyes.

Cada vez, más y más países en desarrollo están buscando soluciones de generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables, debido a su bajo costo, confiabilidad y rapidez para satisfacer las necesidades de electrificación de las zonas rurales. En este sentido sería mejor si los comercializadores tuviesen adecuadas estrategias de mercadeo, y estuviesen cubiertos bajo unas mejores estrategias de financiación, tanto en la compra de equipos como en la venta de ellos. Estos esquemas de financiación, son importantes si se tiene en cuenta las dificultades de

las personas de escasos recursos, ya que muy seguramente la disculpa para no invertir en los sistemas híbridos, sea la inversión inicial, razón por demás válida si se tiene en cuenta que estas personas no tienen una vocación de ahorro, y en la mayoría de ocasiones son reacios para ver los beneficios futuros que un proyecto de esta naturaleza les traería.



Los casos colombianos se plantean como proyectos demostrativos, sería mucho mejor si se les diera un carácter de obligatoriedad, con el fin de poder conseguir la difusión de la tecnología.

La viabilidad económica, para un sistema híbrido eólico-solar depende de las condiciones climáticas del lugar, en particular depende de la velocidad del viento promedio y del nivel de radiación promedio del sitio. Se ve la necesidad de sintonizar el desarrollo, investigación y

comercialización de los sistemas híbridos con los requerimientos de la comunidad que en últimas se beneficiará. Desafortunadamente no es fácil, porque la economía del país no es equilibrada a nivel macro, creando esto circunstancias que imposibilitan la inversión tanto extranjera como interna, controlar tasas de inflación y devaluación corresponden a la política del Gobierno, y sin esto, es muy probable que el desarrollo de sistemas híbridos sea muy limitado.

Para Colombia, se podría decir que la viabilidad técnica del uso de sistemas híbridos si existe, ya que se cuenta con los recursos tanto eólicos como solares para generar energía eléctrica, además de tener la demanda necesaria para el uso de estos sistemas. Sin embargo, la viabilidad económica no será posible mientras no se tengan medidas de tipo económico y financiero que favorezcan el uso de los sistemas híbridos para la generación de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

(1) H.ZAPATA, J.CASTILLO, (1996). *Energía Solar en Colombia*, INEA

(2) J.CASTILLO, (1996). *Primer informe de evaluación de la central solar de la Venturosa*, INEA

(3) República de Colombia, Ley N 142 del 11 de Julio de 1994, (Ley de Servicios Públicos).

(4) República de Colombia, Ley N 143 del 11 de Julio de 1994, (Ley Eléctrica).

(5) J.HUACUZ, S.DURAND, A.ROMERO, (1996). *One year evaluation of the PV-wind-diesel hybrid project in X-Calac México*, IIE(México), Sandia National Laboratories (USA), CONDUMEX S.A.(México).

(6) J.URIBE, (1996). *Estudio sobre la viabilidad técnica y económica del uso de sistemas híbridos para la generación de energía eléctrica*. Universidad de Los Andes, BOGOTÁ