

ESTUDIO DE SIMULACION ECONOMICA PARA UTILIZACIÓN DE CELDAS DE COMBUSTIBLE PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES EN AREAS DE POBLACION REMOTA.

Rodrigo Pérez Ramírez
rodpera@yahoo.com
Master Europeo en Energías Renovables
Modulo Hidrogeno
12 de Mayo del 2006

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio se han evaluado aspectos económicos vinculados a las oportunidades de aplicación de las celdas de combustible para el suministro de energía eléctrica en un núcleo aislado de generación en una área de población dispersa en México.

Aunque México cuenta con un nivel relativamente alto de cobertura (alrededor del 95%), este porcentaje es significativamente menor en los estados del Sur del País, quienes cuentan con menor infraestructura, inferior calidad en los servicios y donde mas del 10% de las viviendas carece de energía eléctrica¹.

Estas viviendas satisfacen sus necesidades de energía eléctrica con fuentes fósiles como candelas, GLP y diesel oil, que emiten GEI perjudicando el ambiente global. La baja demanda potencial, la alta dispersión rural y la reducida densidad habitacional hacen que la solución convencional para electrificar estas comunidades sean las energías renovables.

Durante el proyecto se recorrió el proceso de diseño de una planta híbrida. Una vez conocidas las características de los distintos recursos se realizó una investigación sobre la determinación de la carga. Se dividió el consumo por centros de carga (40 viviendas, 1 escuela, 1 centro de salud y 1 tienda de abastos) tratando de desentrañar los posibles patrones de consumo de cada una de ellos.

A partir de ello y con la ayuda de un programa informático se busco un sistema optimo más ajustado a nuestras necesidades. En nuestro caso se hará uso de HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms)².

Se estudió el modo de cubrir las necesidades mediante energía solar, eólica y pila de combustible. La forma de resolver los casos fue mediante la metodología específica recogida con la ayuda de optimización mediante HOGA, dando como resultado una instalación híbrida compuesta por dos aerogeneradores de 6.5 kW, los cuales suministran 13 kW. El campo fotovoltaico se compondrá de 4 paneles en serie por 6 en paralelo, con potencia nominal de 90 Wp con una potencia total de 66,5 kWh, la pila de combustible sera de 1 kW, junto con un electrolizador de 4,2 kW, con un tanque de H2 de 1 kg, junto con 4 baterías en serie x 3 bat. paralelo de Cn = 462 A·h. cubriendo una potencia total de 66,5 kWh, además de un Inversor de 4500 VA. Todos ellos Cubriendo una demanda total del 13778 kWh/año. En cuanto a pila de combustible y el estadio pre-comercial en que se encuentra a nivel de mercado por su alto coste ubica a la misma con cierta desventaja frente a alternativas conocidas. Si bien es una opción cara frente a otras hoy empleadas en los mercados eléctricos, esto es relativo y depende fuertemente de las innovaciones tecnológicas.

Por último se realizó un somero barrido por las distintas metodologías de estimaciones económicas dando como resultado un coste del 1,5 €/kWh producido en este tipo de plantas con un **Coste Total del sistema (VAN): 174.503 €**

¹ Las comunidades que aun no cuentan con el servicio se encuentran en zonas montañosas (la mayoría de ellos de origen indígena), primordialmente en las fronteras de los estados. Acceder a estos lugares empleando la red resulta en un incremento significativo de los costos. De hecho, la información de la Comisión Federal de Electricidad muestra que la colocación de la red en este entorno cuesta tres veces mas de lo que costaría la colocación de sistemas no convencionales de energías alternas.

² HOGA(Hybrid Optimization by Genetic Algorithms): programa de optimización de Sistemas Híbridos de Energías Renovables para la generación de energía eléctrica (DC y/o AC) y/o Hidrógeno, el programa también permite la optimización multi-objetivo, donde no sólo se busca la minimización de costes, sino también la minimización de otra variable (las emisiones de CO₂ o la Energía No Servida).

I. INTRODUCCION.

En la última cumbre de la ONU sobre la Tierra en Johannesburgo quedó fijada como una de las líneas prioritarias para el desarrollo el facilitar el acceso a la energía eléctrica a los países en vías de desarrollo. Uno de los problemas a los que se enfrentan estos países es la dispersión de su población, el agrupamiento en torno a núcleos rurales a los que es complicado conectar a una red general de distribución de una forma económicamente rentable. Como consecuencia la mayoría de la población agrícola de los países no desarrollados no tienen acceso a la electricidad, favoreciéndose así la entrada en una espiral perniciosa de subdesarrollo local, emigración masiva a la ciudad, falta de acceso a los recursos y en resumen perpetuación de la situación estructuralmente injusta del mundo actual.

Ante este panorama, la respuesta clásica ha consistido en la instalación de un grupo electrógeno diesel. Sin embargo existen lugares en los que el traslado del combustible es complicado y costoso hasta el punto de convertirse en inviable³.

Además, existen otros factores de tipo medioambiental a tener en cuenta. Basta con contemplar los desastres de nuestro entorno para comprender que el modelo energético vigente basado en las energías fósiles y el despilfarro no es sostenible a largo plazo.

Por todas las razones expuestas, un sistema basado en la hibridación de energías renovables (eólica, Solar, pila de combustible) representa una opción a considerar ante un proyecto de electrificación. El impacto sobre el medioambiente es mucho menor que el de un grupo electrógeno o la extensión de la red; económicamente llega a ser competitivo rápidamente cuando se trata de poblaciones muy alejadas de la red general o de acceso complicado y la mejora en el nivel de vida de la comunidad afectada resulta evidente: permite acceder a una iluminación de mayor calidad, abre la posibilidad de implantar un sistema de comunicación incluso con acceso a Internet o televisión (y por tanto a una herramienta de educación poderosísima); crea oportunidades para las microempresas; garantiza el suministro necesario para el mantenimiento de vacunas.

Por último, hay que destacar el papel de promoción de justicia social de un proyecto de estas características. La electricidad abre las puertas a un abanico de opciones que contribuyen a sellar la enorme brecha existente entre Norte y Sur, facilitando el camino hacia una vida más digna y más acorde con lo que debería ser un mundo realmente equitativo.

II. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del Proyecto propuesto es analizar la viabilidad de generación de energía eléctrica mediante sistemas híbridos con uso de pila combustible en la comunidad de San Pedro Loma Larga, San Andrés Paxtlán, Oaxaca, mejorando con ello las condiciones de vida de la población indígena de menores recursos económicos y aumentar la productividad de las comunidades rurales, contribuyendo a la estrategia de la reducción de la pobreza mediante el uso de energías renovables.

Los objetivos específicos de esta operación son:

- (i) Caracterización de los recursos eólicos y solares de la zona.
- (ii) Optimización y simulación del sistema mediante uso de programas informáticos
- (iii) Análisis económico y costes de la instalación..

III. LOCALIZACION LUGAR DE ESTUDIO

La comunidad en donde se realiza la presente evaluación se localiza en la parte sur del estado, en las coordenadas 96° 30´ longitud oeste, 16° 13´ latitud norte y a una altura de 2,000 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio de Miahuatlán de Porfirio Díaz; al sur con San Mateo Río Hondo; al oriente con Santo Tomás Tamazulapan; al este con Miahuatlán de Porfirio Díaz. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 123 kilómetros y La superficie del municipio tiene 77.83 km² que representan el 0.1% del total del territorio estatal.

³ En los países del llamado tercer mundo esta situación se da más a menudo y de manera más acuciante que en los países del "mundo desarrollado" ya que las infraestructuras son bastante más precarias y por tanto el transporte más complejo con lo que se dificultan aún más las iniciativas encaminadas a potenciar el suministro eléctrico.

IV. EVALUACION DE LOS RECURSOS RENOVABLES EXISTENTES.

Esta sección presenta una descripción del viento y las estimaciones de la densidad de energía del viento para Oaxaca. La Tabla 1 nos muestra las clasificaciones de la energía del viento para la escala de utilidad y usos en Oaxaca⁴. Las áreas del recurso del viento de la clase 4 y más alto se consideran convenientes para el desarrollo de la energía del viento. Los usos rurales o de la apagado-rejilla requieren menos recurso del viento para que un proyecto sea viable. Para estos tipos de usos, la clase 2 y recursos más altos pueden ser suficientes para el desarrollo viable de la energía del viento.

Wind Power Classification

Class	Resource Potential (Utility Scale)	Wind Power Density (W/m^2) @ 50 m agl	Wind Speed ^(a) (m/s) @ 50 m agl
1	Poor	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Marginal	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderate	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Good	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excellent	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excellent	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excellent	> 800	> 8.5

^(a) Mean wind speed is estimated assuming a sea level elevation and a Weibull distribution of wind speeds with a shape factor (k) of 1.8. The actual mean wind speed may differ from these estimated values by as much as 20%, depending on the actual wind speed distribution (or Weibull k value) and elevation above sea level.

Tabla 1, Clasificación de Vientos

En Oaxaca occidental, los vientos son 8 m/s a 10 m/s y se extienden a elevaciones más altas de 2000 m a 2400 m sobre nivel del mar. Por lo tanto, las áreas expuestas de Oaxaca occidental donde se acanalán o se realzan estos vientos pueden tener la clase 4 y recurso anual más alto del viento.

En Oaxaca central, las áreas más notables están situadas aproximadamente 40-70 kilómetros al este de la ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla). Aquí, los vientos del Noreste aparecen acelerados sobre los cantos relativamente bajos al norte y al este de Mitla mientras que divergen alrededor del extremo meridional de montañas altas en el sierra de Oaxaca. En el Sureste de Oaxaca las altas áreas del recurso están situadas aproximadamente 80-110 kilómetros de sur de la ciudad de Oaxaca cerca de la ciudad de Miahuatlan, que es donde precisamente se ubica nuestra región de estudio en donde existe un viento superior a 7 m/s, en la Figura 1 aparece la variación del viento durante todo el año.

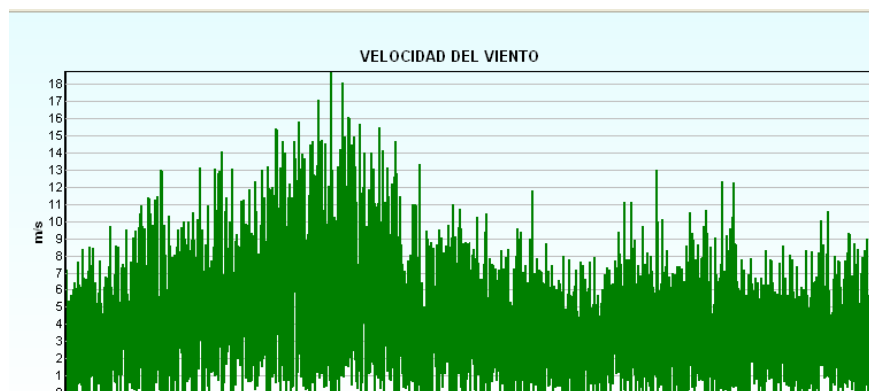


Fig. 1. Variación del Viento Anual, San Andrés Paxtlán Oaxaca.

IV.1. - MEDIDA DE RADIACION SOLAR

Para un proyecto como el presente no será necesario descender a un nivel de análisis en profundidad de las diferentes componentes de la radiación solar global (directa, difusa, albedo), tampoco es probable que sea necesario detallar la irradiación hora a hora ni siquiera día a día sino que normalmente se tomara el valor medio diario del mes tipo.

⁴ Oaxaca es influenciado por tres flujos predominantes del viento, un noreste al viento del norte a partir de octubre a febrero, un viento del oeste a partir de marzo hasta mayo, y un este al viento norte a partir de junio con septiembre. El más fuerte de los flujos del viento es el noreste al viento del norte, y porque las incidencias de este flujo fuerte ocurren en marzo y abril, este flujo del viento es el más predominante en Oaxaca.

Las mediciones incluidas en nuestro caso están realizadas por Sandia National Laboratories (HOMER)⁵, con ellas se pretende dar una idea de la forma en que este laboratorio facilita sus datos (los tiene disponibles a nivel mundial) y corroborar los conceptos expuestos anteriormente para ello se han elaborado la siguiente Figura 2.

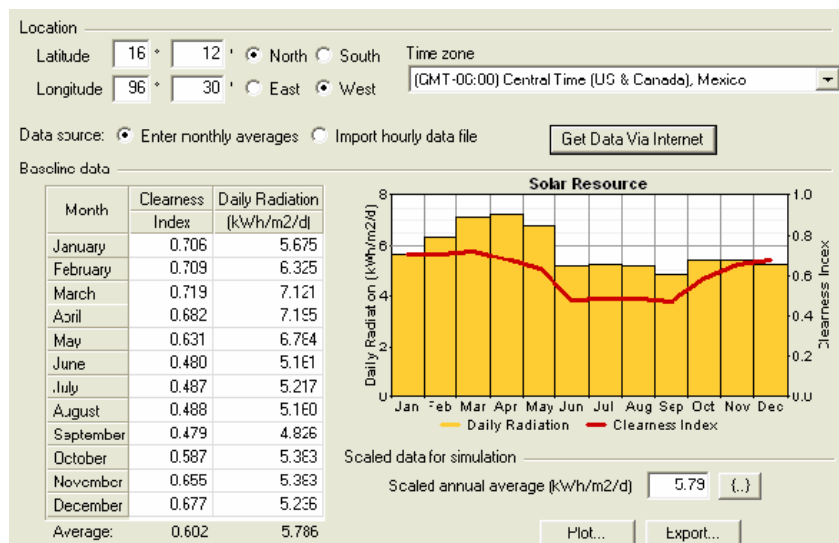


Fig. 2 Radiación Solar Anual San Andrés Paxtlan

V. PLANTEAMIENTO DEL ESCENARIO

La distribución del núcleo rural es variada y compleja. A pesar de esto, la dispersión de los centros de consumo será determinante a la hora de plantear un sistema de generación centralizado. Por tanto, en este apartado se pretende elaborar un modelo que permita luego, al realizar el diseño, poner de relieve los condicionantes sobre la instalación derivados de él.

Al realizar un proyecto de electrificación, lo natural será escoger un emplazamiento con características particulares en el que la aplicación de la tecnología conlleve beneficios mayores que en otras comunidades. Esto lleva a pensar en escenarios de agrupaciones de población de tamaño más bien intermedio (unas 200 ó 300 personas en unas 40 viviendas) que además cuenten con un centro de salud o dispensario, escuela e incluso algún tipo de pequeña tienda de abasto.

VI.1 DETERMINACION DE LA CARGA

Un papel importante en el diseño consiste en prever las necesidades a las que deberá dar respuesta. Si la instalación está diseñada ex profeso para una comunidad o uso determinados es posible determinar sus expectativas, hábitos de consumo y por tanto conocer con un grado de exactitud bastante elevado el perfil de consumo que van a presentar⁶.

En un proyecto como el presente se complica por el desconocimiento existente de la comunidad porque nunca antes han tenido electricidad. La experiencia dicta que en estos casos el paso suele producirse en tres escalones de mayor demanda cada vez: una vez la electricidad ha sido instalada, los habitantes empiezan a emplearla más y más. Por eso es importante en el diseño de la instalación prever la posibilidad de realizar futuras ampliaciones y si no existe un condicionante económico serio, tender a sobrestimar las necesidades de forma que la instalación no se quede obsoleta demasiado rápido.

Las viviendas tienen una superficie de unos 10 m² con un área de influencia de un radio de 6 m. Las casas están compuestas por una sola planta y una única habitación en su interior por lo que para lograr un buen nivel de iluminación basta con dos puntos de luz en el interior y un tercero en el

⁵ HOMER: El "Hybrid Optimization Model for Electric Renewables" es un programa del NREL que simula hora a hora distintas configuraciones y proporciones entre eólica, fotovoltaica, hidráulica y generador diesel buscando el óptimo económico. Es un programa bastante flexible, permitiendo análisis adicionales de sensibilidad a los diferentes parámetros.

⁶ Sin embargo, este no suele ser el caso en la mayoría de las ocasiones, de hecho casi nunca es así y el diseñador tiene que ingeniárselas para predecir cuánta será la carga y calcular la instalación en consecuencia. En ese punto hay un delicado equilibrio entre economía y sobredimensionado de la instalación.

exterior (para iluminar por ejemplo la entrada en momentos puntuales). Dadas las características del equipo de generación, las bombillas serán de alta eficiencia, consumiendo 10 ó 20 W en lugar de los 60 o 100 W que consumen las bombillas incandescentes normalmente usadas en los países desarrollados.

La experiencia muestra que la potencia pico de este tipo de instalación ronda los 250 w y el consumo energético diario se puede estimar en torno a 0'5 kWh. Por ello no tiene sentido pensar en aplicaciones que exijan una potencia elevada pero conviene prever dos tomas de corriente de usos generales para aparatos como radio, un pequeño ventilador, televisor, licuadora. El orden de magnitud de consumo de estos pequeños electrodomésticos está en la decena o centena de vatio, coherente con la demanda doméstica previsible. Se incluye a continuación la Tabla 3 con algunos consumos típicos.

Equipo	Potencia (W)
Lámparas	8,10,15,18,20
Televisión Blanco y Negro	40
Televisión Color	200-400
Radio	6
Ventilador	50-100

Tabla 2 Consumos típicos (Fuente ISF⁷)

El poblado actualmente esta formado por 120 habitantes, pero de unas 300 personas implica que en él habrá unos 100 niños. En la escuela podrá haber un máximo de tres aulas (30 alumnos por aula). Es una práctica habitual, que en ocasiones las aulas sean empleadas también como "centro social" donde se mantengan reuniones de vecinos o incluso celebraciones lo que modifica el consumo que sería previsible de usarse únicamente como escuela.

La primera necesidad evidente vuelve a ser la de iluminación, que permita dar clase con una calidad adecuada incluso cuando la luz exterior no suficiente. Mediante un cálculo rápido se puede realizar una primera estimación de los puntos de luz por aula.

Se puede suponer que existen dos puntos de luz por cada dos filas (uno sobre cada una de las alineaciones de mesas) por lo que los puntos de luz necesarios son 8 por aula, estando compuestos por lámparas cenitales de tubos fluorescentes, dos por punto de luz, cuyo consumo ronda los 20 W al igual que las lámparas de alta eficiencia. Además de prever dos o tres tomas de corriente destinadas a permitir el uso de aparatos de video, computadores, proyectores de diapositivas. Ver consumos típicos Tabla 3 y consumo escuela Figura 4.

Aparato	Potencia demanda (W)	Horas de uso típicas
Ventilador cenital	40	4-12 horas
Televisión B&W	15	1-4
Color 15"	60	1-4
Color 25"	130	1-4
Vídeo	30	1-4
Aparato de diapositivas	200	1-4
Computador	200	1-12
Radio	15	1-12

Tabla: Consumos típicos en escuela rural Fte: NREL

Tabla 3 Consumos típicos en escuela rural

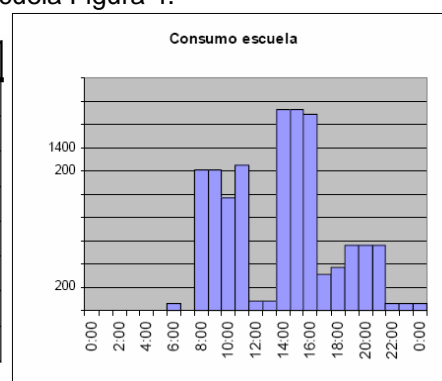


Fig 3 Consumo Diario Escuela

El escenario de propuesto en este proyecto prevé un centro de salud de tamaño intermedio, compuesto por una o dos salas que sirvan como consulta y un pequeño despacho. En cada una de las consultas se consideran dos puntos de luz cenitales de alta eficiencia que proporcionen un nivel de iluminación apropiado en el interior de la sala, además de dos tomas de corriente que permitan conectar lámparas para una mayor intensidad luminosa o aparatos específicos para consultas médicas. Parece coherente suponer para estas tomas de corriente a la vista de los aparatos típicos, una potencia máxima de 100 W, que en muy rara ocasión se empleará a plena carga. En cuanto al despacho/laboratorio es lógico suponer que en su interior estarán concentrados los aparatos del centro, como el refrigerador donde se almacenan las vacunas (para estas es crítico mantener la

⁷ Ingeniería Sin Fronteras: Organismo No Gubernamental promovente del desarrollo humano y uso de energías alternativas en países subdesarrollados.

cadena del frío a fin de evitar que pierdan su poder inmunológico), una computadora, un equipo de comunicaciones, un microscopio o incluso un esterilizador eléctrico. Esto nos lleva a la exigencia de prever varias tomas de corriente de potencia variable a fin de satisfacer sus necesidades, además de dos puntos de luz que proporcionen una iluminación apropiada en su interior.⁸

Respecto a las variaciones estacionales o semanales se supone que van a ser muy pequeñas a lo largo del año. Sí es previsible una reducción importante de actividad el sábado y domingo.

El escenario planteado contempla la existencia de una tienda de abastos, la tienda estará compuesta de una zona en la que esperen los clientes tras el mostrador y un área de almacén detrás donde se guarden los productos. Las necesidades más evidentes son las de un nivel de iluminación adecuado en el interior de la tienda mantenido durante todo su horario; de generación de frío tanto para mantener frescos los alimentos que lo exijan como para por ejemplo mantener hielo que pueda ser vendido; un ventilador cenital (40W) que mantenga un ambiente relativamente agradable y dos o tres tomas de corriente de potencia media (100 W) para usos varios.

V.2 Agrupación de los consumos

Los consumos derivados de la escuela, tienda y centro de salud se dieron ya como conocidos, en función de lo que parece más lógico a la hora de valorar la potencia que demandan en cada momento. En la Tabla 4 y figuras 4 y 5 se estiman y agrupan de manera general los consumos del poblado.

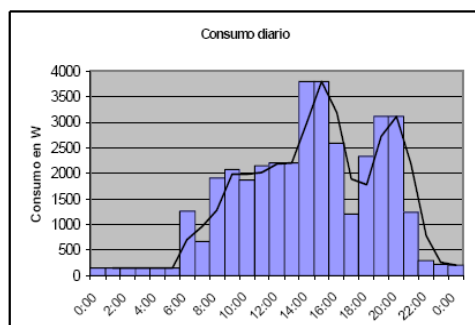


Figura 4 Consumo diario

Diario	
Consumo total (kWh)	44
Potencia máxima(W)	4.411
Sábado	
Consumo total (kWh)	27
Potencia máxima(W)	2.625
Domingo	
Consumo total (kWh)	19
Potencia máxima(W)	2.625

Tabla 4. Consumos Totales

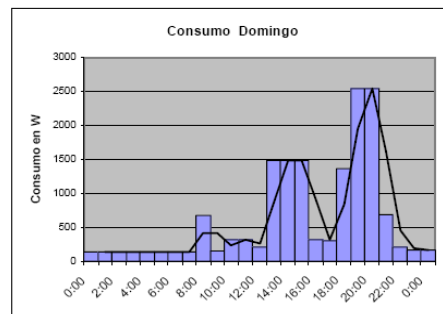
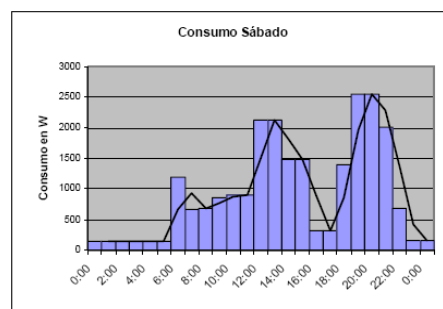


Figura 5. Consumos fin de semana.

VI. DIMENSIONADO DEL SISTEMA MEDIANTE HOGA (HYBRID OPTIMIZATION BY GENETIC ALGORITHMS).

Existe una gran variedad de herramientas informáticas para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos, tanto como única fuente de energía como para sistemas híbridos. Cada programa lleva sus propios algoritmos y obtiene una precisión variable, siempre condicionada por la propia naturaleza aleatoria del recurso solar, que lo hace más o menos apropiado en función del estudio que se esté realizando (diseño, estudio preliminar etc).

HOGA es una herramienta informática para el dimensionado óptimo de instalaciones híbridas contemplando la posibilidad de la inclusión de energías renovables tanto solar como eólica e hidráulica, junto con sistemas de apoyo basados en acumuladores (baterías), en grupo electrógeno

⁸ Información proporcionada por el NREL.

(generador AC), y en pila de combustible. Para ello emplea algoritmos genéticos⁹, los cuales hacen un estudio del coste y de las emisiones de contaminantes hasta llegar a una óptima relación del número y tipo de paneles, el número y tipo de aerogeneradores, el tipo de turbina hidráulica, el número y tipo de baterías, el tipo de generador AC, el tipo de electrolizador, el tipo de pila de combustible, el tanque de H₂, el tipo de inversor y la estrategia de operación de la instalación.

VI.1.- PARAMETROS Y VARIABLES DE CALCULO DEL SISTEMA.

A menudo, para asegurar el suministro interrumpido de energía al consumo de la instalación se hace uso de grupos electrógenos (llamados en el programa generadores AC, usualmente Diesel). Es el sistema más ampliamente utilizado como sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación o bien para cubrir determinados consumos de elevada potencia. No obstante, los generadores AC tienen el inconveniente medioambiental de generar gases tóxicos y de efecto invernadero, por tal motivo se sustituirá por un electrolizador y pila de combustible. Para nuestro caso y de acuerdo a la disponibilidad de recursos nuestro proyecto como lo muestra la figura 6 estará conformado por:

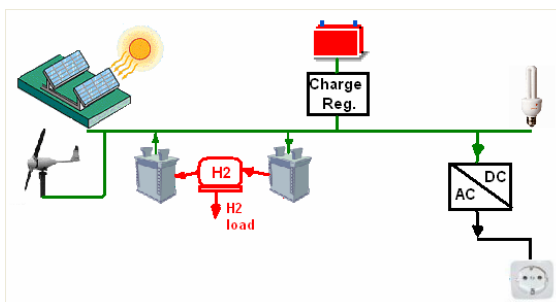


Figura 6. Simulación del sistema híbrido.

VI.2.-Introducción de datos de consumo diario.

De acuerdo a nuestros datos previstos de determinación de carga, se procede a la introducción de los mismos en HOGA, el cual nos ofrece la posibilidad de ver los consumos diarios durante el año como lo muestra la figura 7:



Figura 7. Consumos Diarios

De igual forma se introducen los datos de viento y radiación solar, ya evaluados en párrafos anteriores.

VI.3. Optimización de componentes y estrategia

Para nuestro caso hemos elegido **optimizar tanto componentes como estrategia**¹⁰, Las variables y datos utilizados se muestran en la figura 8:

⁹ Los algoritmos genéticos permiten obtener soluciones satisfactorias al ser aplicados a problemas con un gran nivel de complejidad, y con tiempos de cálculo muy bajos. Estas técnicas se han aplicado a una gran cantidad de problemas en la industria, obteniendo en ocasiones soluciones mejores y en menos tiempo que con otros métodos de optimización.

¹⁰ (cuándo debe dar energía uno u otro componente, hasta qué nivel deben cargarse las baterías, etc)

The screenshot shows a software interface with three main panels:

- ALGORITMO PCPAL. (OPTIM. COMPONENTES):**
 - Generaciones: 50, Población: 100
 - Tasa Mut.: 1%, Tasa Cruce: 70%
 - Mut.unif. TODAS COMB. Ver mejores: 100
 - Baterías paralelo: Mín. 1, Máx. 20
 - Paneles paralelo: Mín. 1, Máx. 30
 - Aerogen. paralelo: Mín. 1, Máx. 5
 - Máxima E No Servida permitida: 0%
 - Inicio simulación: hora 0, día 1, mes 1
 - SOC inicio simulación: 100% de SOCmax
 - Comparar con Método Mes Peor (PV-only)
 - Días autonomía: 4
- ALGORITMO SEC. (OPTIMIZACIÓN ESTRATEGIA):**
 - Generaciones: 5, Población: 20
 - Tasa Mut.: 1%, Tasa Cruce: 70%
 - Mut.unif. TODAS COMB. Ver mejores: 100
 - VARIABLES A OPTIMIZAR:
 - Pmin_gen, Pmin_pila, H2TANKstp
 - P1gen, P1pila, P2
 - SOCstp_gen, SOCstp_pila, SOCmin
 - Pcritica_gen, Pcritica_pila, Plímite_carga
 - Fijar Valores, Precisión variables: 10 = 100%
 - MULTIOBJETIVO Ver solo No dominadas
 - Coste- Emisiones, % sobre coste mín. 60
 - Coste- E no serv., Nº máx. No dom.: 20
 - Guardar Pareto cada 5 gen. Exportar Paretos
- COMPONENTES:**
 - Paneles PV
 - Aerogeneradores
 - Turbina hidráulica
 - Baterías
 - Generador AC
 - Inversor
 - H2 (Pila - Elect.)
 - Intereses del mercado (precio del dinero): 4%, Tasa de descuento: 1,96%
 - Inflación esperada: 2%
 - Periodo de estudio: 25 años
 - Cableado e instalación: 300 €
 - Esquema Gráfica

Figura 8. Variables y datos utilizados

VII.- ANALISIS DE RESULTADOS

Como es sabido el consumo no es constante a lo largo del día ni de la semana, sino que presenta variaciones. Las fluctuaciones detectadas podrían ser interesantes si se dispusiera de una descripción mas detallada de los recursos (incluso una predicción de su evolución hora a hora) pues permitiría realizar un estudio mas profundo de cómo dimensionar el banco de almacenamiento y la generación para acoplarlo mejor al perfil, optimizando el diseño.

Sin embargo, no hay que perder de vista el hecho de que ni los datos de los recursos son totalmente fiables, ni la estimación de carga tampoco; únicamente se trata de aproximaciones suficientemente buenas a una realidad desconocida. Así, pues, aunque pudieran derivarse datos del estudio del acoplamiento entre ambos recursos, siempre habría que tomarlos con cierto escepticismo, lo cual reduce su valor.

La metodología a seguir, por tanto, será calcular la demanda de un día medio de la semana, como la suma de los siete días. Esto conduce a una demanda prevista de 40.94 kWh/día. El pico de potencia vendrá determinado por el pico de potencia semanal 4.111 W; previsto a las 14:00 de los días de la semana. La hora en que se sitúa este pico, privilegia la producción fotovoltaica.

En nuestro caso podemos considerar una fiabilidad suficiente de un nivel del 95%, en donde cabe la posibilidad que exista alguna autoridad que regule el consumo de manera que en las épocas de menor bonanza energética se impongan restricciones al consumo.

El banco de baterías se dimensiona para un almacenamiento de cuatro días, considerado suficiente por las consideraciones realizadas anteriormente sobre la carga. No se considera reducción del rendimiento del banco ni por temperatura ni por ratio de carga/descarga.

Por su menor coste, las baterías más apropiadas en este caso son las de plomo ácido tradicionales, los acumuladores estarán accesibles e incluso es deseable que haya alguna persona encargada dentro de la propia comunidad para involucrarlos mas con la instalación y convertirla en motor de desarrollo.

Con esto queda además determinado el tamaño de la pila de combustible, que deberá tener la suficiente potencia para cargar las baterías en 10 horas, con lo cual el optimo es una pila de combustible de 1 kW . Esto implica que la pila se mantendrá en funcionamiento durante unas 727 horas al año para producir los 725 kWh anuales, donde las horas de funcionamiento del electrolizador será de 4580 h/año con un consumo energético de 10.991 kWh/año.

El aerogenerador escogido, por la magnitud de la potencia a entregar en esta ocasión fueron dos aerogeneradores de 6.5 kW, los cuales suministran 13 kW. El campo fotovoltaico se compondrá de 4 paneles en serie por 6 en paralelo, con potencia nominal de 90 Wp con una potencia total de 66,5 kWh, la pila de combustible sera de 1 kW, junto con un electrolizador de 4,2 kW, con un tanque de H2 de 1 kg, junto con 4 baterías en serie x 3 bat. paralelo de $C_n = 462$ A-h. cubriendo una potencia total de 66,5 kWh, además de un Inversor de 4500 VA. Todos ellos Cubriendo una demanda total del 13778 kWh/año.

VIII.1 Calculo de Estimaciones:

El primer dato a estimar lo constituye el coste del kWh producido. En primera aproximación se calculara por la metodología del periodo de retorno¹¹ (establecido en 10 años), teniendo en cuenta además los costes anuales de operación y mantenimiento.

$$\text{Inversion} / \text{P.Retorno} = 190.000 / 10 = 19.000 \text{ €}$$

$$\text{OyMant} = 1.800 \text{ €}$$

$$E_{\text{anual}} = 13778 \text{ kWh / año}$$

$$\text{Coste kWh para cubrir costes} = (19.000 + 1.800) / 13778 = 1.5 \text{ €}$$

Obviamente este es un coste muy elevado respecto a un estándar del mundo desarrollado. Sin embargo hay que reflexionar sobre la alternativa que se presenta a una instalación de este tipo y el coste del kW en ese escenario. Normalmente cuando no hay suministro eléctrico se recurre a pilas o lámparas de queroseno de eficiencia mucho menor y cuyo coste por kW es incluso mayor que el euro estimado en este escenario. En ese sentido la instalación representa una ventaja tan importante que contrarresta su alto coste.

Por otro lado este alto precio justifica la necesidad de créditos de ayuda a la cooperación para la instalación de este tipo de plantas generadoras, de forma que los consumidores que disfrutan de estándares de calidad energética mas altos y menos caros subsidia ricen el consumo de aquellos menos afortunados. Es una mera cuestión de justicia social.

En el siguiente gráfico aparecen los costes porcentuales calculados por HOGA de los distintos componentes a lo largo de la vida del sistema, trasladados al momento inicial VAN.

VIII.3 Informe Final

En el informe (anexos) aparecen detallados los Componentes del Sistema (con un gráfico de potencias), se explica detalladamente cómo actúa la Estrategia de Control, se especifican los Costes (VAN) de los distintos componentes, así como el Balance de Energías, con sus graficas correspondientes.

IX CONCLUSIONES

Como conclusiones extraídas de todo este proceso, se adquirió un conocimiento avanzado de las diferentes alternativas existentes y sus especificaciones para cubrir las necesidades al dimensionado de la instalación que permite integrar la filosofía subyacente en el concepto de hibridación como respaldo mutuo entre las distintas fuentes.

En cuanto a la inclusión de pilas de combustible la principal barrera al desarrollo de estos mercados en la actualidad está constituida por el alto costo unitario del kW instalado que varía desde los 4.000 u\$/kW para las celdas de ácido fosfórico, hasta los 10.000 u\$/kW para las celdas de óxido sólido en el caso de los sistemas estacionarios. El alto costo unitario y la falta de competitividad frente a otras alternativas hacen que la tecnología de celdas de combustibles tenga que trabajar intensamente en la reducción de costos, a los efectos de promover a una etapa de producción masiva en el mediano o largo plazo.

En contraposición a su costo, las celdas de combustible, desde el ángulo del concepto de sustentabilidad y bajo una visión amplia de política energética, resultan altamente positivas. En efecto, la tecnología de celdas muestra que, desde un enfoque cualitativo, contribuye positivamente a: i) autarquía energética, ii) robustez frente a cambios externos, iii) mayor productividad energética, iv) mayor cobertura eléctrica, v) mayor cobertura de necesidades básicas, vi) pureza en el uso de energía, vii) mejor aprovechamiento en el uso de energías renovables y viii) mejor aprovechamiento de la biomasa. Por último quedó patente el esfuerzo económico que esta alternativa requiere y la necesidad de una ayuda de algún tipo de programa de ayuda al desarrollo si sinceramente se quiere repartir la riqueza del mundo de una forma más equitativa.

¹¹ **Periodo de retorno:** El análisis del periodo de retorno es el más simple de todos los métodos y el que se empleará en este proyecto. Consiste en dividir por el valor anual del kWh producido el coste del sistema, de modo que se recobra la inversión en un periodo fijado. Tiene la ventaja de ser un método sencillo y que da una medida de la viabilidad del proyecto bastante realista, pero omite factores importantes como puedan ser los intereses de los préstamos o la inflación.