

ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA PARA HOTELES EN VENEZUELA

Ciaddy Gina Rodríguez Borges¹, Antonio Sarmiento Sera² y María Rodríguez Gámez³

¹Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Venezuela.

²Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) Cuba.

³Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen: Este trabajo considera la situación de los hoteles e instalaciones turísticas ante el problema del alto consumo de energía requerido para sus funciones y la necesidad de disponer de sistemas de autogeneración de energía eléctrica cuya fuente de generación no sea basada en combustibles fósiles. Debido a la complejidad que implica el manejo que estos combustibles, su acopio y el impacto ambiental y que genera su uso continuo en este tipo de instalaciones, se procedió a analizar alternativas que permitan suplir de servicio eléctrico mediante fuentes renovables de energía a algunas áreas prioritarias, logrando una opción de sistema de abastecimiento eléctrico que no emplea combustible fósil y que satisface un parte de la demanda de energía del hotel, estimada entre 90 kWh/día y 220 kWh/día, durante horarios de máximo consumo para la red eléctrica. Se concluye como adecuado el dimensionamiento de dos capacidades de sistemas híbridos para los consumos señalados, los cuales lograron satisfacer las exigencias de energía para los rangos de disponibilidad de recursos energéticos típicos en Venezuela, los cuales fueron validados mediante simulaciones para un amplio rango de escenarios. Finalmente estas opciones se estiman como superiores para parámetros económicos y de menor impacto ambiental respecto a la opción convencional de fuente de generación diésel.

Palabras clave: Sistemas híbridos/ Eólico fotovoltaico/ Hoteles turísticos/ Demanda pico.

ALTERNATIVE OF ELECTRIC GENERATION BY MEANS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR HOTELS IN VENEZUELA

Abstract: This paper considers the situation of hotels and tourist facilities to the problem of high energy consumption required for its functions and the need for systems generating electricity sourced generation will not be based on fossil fuels, due to the complexity of these fuel management and collection, as well as the environmental impact generated by your continued use in such installations; so we proceeded to analyze alternatives to supply electric service from renewable energy sources for some areas of priority , achieving a choice of system of self that does not use fossil fuel and that satisfies a portion of the energy demand hotel, estimated at 90 kWh / day and 220 kWh / day during peak usage times or peak for the mains. We conclude as appropriate dimensioning capabilities photovoltaic two wind hybrid systems for consumption identified, which managed to meet the energy requirements for typical ranges of available energy resources in Venezuela, once simulated a wide range of scenarios, these options estimated as superior to the economic parameters and minor impacts on environmental pollution compared to conventional power generation option backup diesel.

Keywords: Wind photovoltaic/ Hybrid systems tourist hotels/ Pick demands.

I. INTRODUCCIÓN

La energía fósil constituye la fuente de generación del 80% de consumo mundial de energía eléctrica, pero según estimaciones de la agencia World Resources Energy (WER) realizada en el año 2013, se estima que las fuentes de origen fósil serán desplazadas en al menos un 5% por las fuentes renovables de energía para el año 2020 [1], lo cual resulta de mucha importancia dado que en un término menor de 100 años se prevé el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles. Por lo que es necesario, proseguir en las investigaciones en torno a alternativas de generación eléctrica que a corto o mediano plazo puedan ir sustituyendo las fuentes convencionales de generación y a la vez que permitan suplir la demanda energía en áreas que no cuentan con acceso a la electricidad [1].

La industria turística representa un sector económico dependiente del consumo energético, y de forma destacada de la energía eléctrica para ofrecer sus servicios. Las concepciones ecológicas que ha tomado auge en este sector presentan una interesante evolución y vigencia [2]. Por lo que la reducción de los dañinos efectos de una desmesurada dependencia de la energía de origen fósil puede considerarse relevante en dos direcciones:

- 1) Desarrollo y aplicación de técnicas para el ahorro y uso racional de la energía, lo cual resulta imprescindible y de importantes beneficios dentro del sector hotelero [3].
- 2) La incorporación de fuentes endógenas y renovables de energías para la autogeneración de energía eléctrica en los hoteles [4].

Estos conceptos apuntan a la gestión de la demanda (y oferta) de energía en horarios de mayor demanda, denominados “horarios pico o de punta”, donde la capacidad de generación de energía de base no es suficiente para satisfacer las demandas a través de la red de distribución eléctrica. En estos casos las unidades de respaldo para la autogeneración eléctrica son necesarias; las cuales pueden combinarse con distintos esquemas de funcionamiento en las instalaciones para lograr una mayor eficiencia energética en la realización de tareas como: Lavado de lencería, riego de jardines, limpieza de piscina, bombeo de agua, entre otras; cuyos horarios no amerite su ejecución de forma coincidente con la hora de mayor demanda a la red eléctrica.

La autogeneración es una medida propuesta que facilita

la disminución de un porcentaje de la demanda eléctrica de los grandes usuarios en las horas de mayor demanda (pico) para la red eléctrica nacional, que ha incorporado países como Venezuela en el marco legal para los grandes usuarios (usuarios del sector eléctrico con una demanda contratada mayor a 100 kVA), a los fines de lograr un mayor equilibrio entre la demanda de energía y la generación y distribución vía red eléctrica [5].

Un porcentaje importante del sector industrial y de servicio (incluyendo el sector turismo), emplea como solución a la necesidad antes mencionada, el uso de plantas de generación con motores diésel, para el cumplimiento de lo establecido en el marco legal, pero estas tecnologías implican algunas dificultades para su manejo, tales como: Costo de transporte y almacenamiento de combustibles, mantenimiento del generador y manejo de elementos de contaminación ambiental generada, entre otros aspectos; por lo que se debe considerar otras opciones de generación [6-7].

Se propone en este trabajo el desarrollo de un conjunto de opciones para la autogeneración eléctrica del sector turístico en instalaciones hoteleras, basadas en el empleo de fuentes renovables de energías, que permitan satisfacer una parte de la demanda del hotel, sin el empleo de fuentes de generación basadas en motores diésel, proponiéndose el uso de sistemas híbrido eólico-fotovoltaico, que presentan ventajas tales como: Su bajo costo de mantenimiento, menores costo equivalente de la energía, entre otras; por lo que resulta en la actualidad una opción altamente competitiva respecto al uso de generadores diésel, garantizando la orientación ecológica en el sector turístico [7].

Las propuestas a ser formuladas están dirigidas a contribuir con la disminución en el impacto ambiental, lo que hace sostenible el carácter de responsabilidad social y cuidado del ambiente, que predomina dentro de algunas organizaciones del sector y que es conocida internacionalmente como “Hoteles Verdes” o “Eco-hotel”, mediante el manejo adecuado de residuos y de aprovechamiento de la energía provenientes de fuentes renovables [8], a la vez que garantizan propuestas de sistemas de respaldos con parámetros más económicos (costo de la energía) dada la vida útil de los sistemas propuestos respecto a los motores diésel [8].

Es posible afirmar, según investigaciones preliminares desarrolladas en el país, los recursos energéticos predominantes en la amplia geografía venezolana, facilitan la utilización de sistemas híbridos con buen

desenvolvimiento, por lo que es posible suplir mediante estos sistemas a una demanda desde 90 kWh/día hasta 220 kWh/día, además de poder brindar energía en las ocasiones en que se presente apagones en las áreas seleccionada para ser suplidas por los mismos, en este caso el área de servicios generales, por no prescindir en ningún momento del servicio eléctrico [9].

Entendiendo como áreas de servicios generales o áreas comunes, aquellas empleadas por huéspedes y personal en distintos servicios del hotel, tales como: Lobby de entrada, pasillos de habitaciones, salones, áreas externas (jardines, áreas de piscina y estacionamientos), gimnasio, bar, restaurante, entre otras [10]; por lo que se considera como la prioridad dotar de servicio eléctrico mediante un sistema de respaldo de generación al área de servicios generales empleando fuentes renovables de energía para los puntos de iluminación, bombas, entre otros, que estén vinculados con estas áreas.

Esta propuesta busca garantizar la dotación de energía durante un conjunto de horas de mayor demanda eléctrica, empleando un sistema híbrido eólico-fotovoltaico; que suplirá durante un conjunto de 8 horas diarias la alimentación eléctrica como respaldo a la red eléctrica convencional y que a pesar de su condición de diseño está dada para evitar el sobredimensionamiento, tal como esta planteado en el marco legal venezolano.

Estos sistemas propuestos deben contar para su adecuada operación con un moderno sistema de control, que facilita la alternabilidad durante el día (en horas pico) del uso del sistema híbrido y en el resto de las horas continuar con el abastecimiento de la red eléctrica

convencional; entendiendo que el sistema híbrido solo alimentará los circuitos eléctricos asociados a las áreas de servicios generales y el resto de la demanda será atendida por la red eléctrica convencional; estos sistemas están configurados electrónicamente para generar la menor perturbación durante los cambios en la fuente de suministro eléctrico para evitar alteraciones en el confort y del servicio del hotel [11].

Este trabajo tiene como objetivo valorar alternativas para la generación eléctrica en hoteles empleando sistemas híbridos eólico-fotovoltaico comparándolos con la opción de generadores diésel exclusivo para satisfacer la demandas de energía de los servicios generales, durante el horario de mayor demanda de la red eléctrica; demostrando su aplicabilidad para dos distintas necesidades energéticas en función al tamaño de los hoteles, con demandas de energía desde 90 kWh/día hasta 220 kWh/día, utilizando como criterio de valoración el costo equivalente de la energía y la cantidad de emisiones contaminantes generadas por cada tipo de sistemas.

II. DESARROLLO

Los sistemas para la autogeneración de energía eléctrica propuestos son híbridos que integran a sus posibilidades la función de generación de energía fotovoltaica y eólica, están conformados por los siguientes equipos: un generador fotovoltaico, un generador eólico, el sistema de control (inversor bidireccional) y un sistema de baterías. Tal como se presenta en la figura 1 se muestra un esquema general de la configuración propuesta [12].

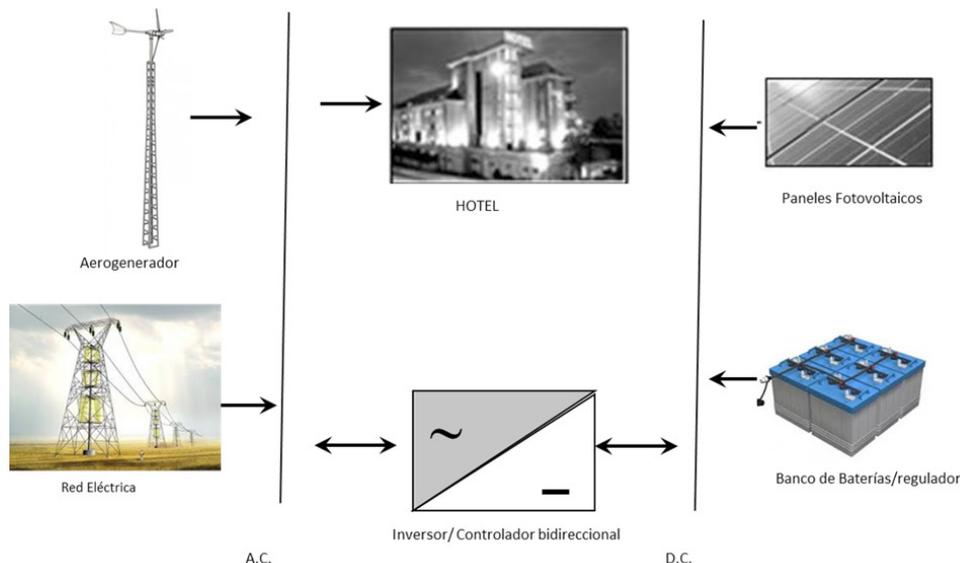


Figura 1. Configuración de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos propuestos.

La configuración de estos sistemas es en paralelo, como puede observarse en la Figura 1, por lo que presentan como ventajas respecto a las configuraciones en serie y conmutada, que el control lo ejerce el inversor controlador, el cual establece la direccionalidad en la entrega de energía de las fuentes renovables, de la carga de las baterías o de la red ante la ausencia de las dos anteriores o en función a las horas de programación horaria para suplir la demanda pico de energía [12].

Debido a que la capacidad para la generación

eléctrica de cada fuente de energía está condicionada por la integración de sus elementos tecnológicos, los cuales presentan diferentes niveles de eficiencia, se procedió a seleccionar un conjunto de ellos, en función a compatibilidad de sus tecnologías y considerando aquellas tecnologías que han sido empleadas en el país en sistemas similares (empleado en comunidades electrificadas mediante estos sistemas) [12], cuyas características técnicas y costos para adquisición, así como los costos de su mantenimiento, se ilustran en la Tabla I.

Tabla I. Costos de la tecnología para su adquisición, operación y mantenimiento anual.

Descripción de tecnologías		Costo de adquisición	Costo anual de mantenimiento	Vida útil (años)
Módulo fotovoltaico	Monocristalino 24 V y 13 % de eficiencia	1310 \$/kW	10 \$/kW	25
Aerogenerador	3 kW de 24 V en CA con regulador	2630 \$/kW	33 \$/kW	15
Inversor-Controlador	Inversor SMA 5 kW, 48 V, 100 A	730 \$/kW	100 \$	5
Baterías	De plomo ácido, de 2 V, 1000 Ah	501 \$	2 \$/batería	20
Generador diésel	Potencia 10, 15, 20 y 25 kW	6782 \$, 7834\$, 8976 \$ y 10438\$ respectivamente	2 \$/h. de operación (incluye combustibles)	15000 horas de operación

Fuente: Elaboración propia a partir de datos y precios consultados en páginas de internet para las marcas y características de los equipos señalados [13-17].

El diseño de control seleccionado para estos sistemas híbridos, sigue la estrategia denominada Ciclo de Carga, la cual permite seleccionar el sistema que brindará la energía, con prioridad en la fuentes renovables y cuando ésta o las baterías no puedan suministrar la demanda instantánea, por lo que el sistema activa la conexión con la red eléctrica para que la misma asuma la totalidad de la demanda y en proceso simultáneo proceda a cargar las baterías, hasta que se disponga de suficiente carga para asumir nuevamente el suministro mediante el sistema de autogeneración. Estos sistemas presentan una vida útil esperada de 20 años y se considerará una tasa de interés preferencial del 10% anual (proyectos de interés para social).

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaico-eólico se realiza en función de la hipótesis fundamental, de que si se conoce la distribución temporal del recurso solar y viento se podrá determinar la factibilidad de

satisfacer la demanda de energía a través de fuentes renovables de energía de forma exclusiva durante el lapso de horas estimadas.

a) Demanda de energía

La demanda horaria de las instalaciones fue estimada de acuerdo al conjunto de equipos y artefactos eléctricos empleados en los servicios generales de un hotel típico, que ameritan funcionar en las horas de autogeneración en el lapso de las 12:00 del día a las 8:00 de la noche. El total de energía demandado diariamente a estos sistemas fue estimado según se presenta en la Tabla II, corresponden a los artefactos que previamente han sido evaluados en función a una adecuada eficiencia energética requerida, es decir, que se sugiere previamente la realización de la sustitución de equipos de baja eficiencia y elaboración de un plan de ahorro en el hotel, para hacer un racional y eficiente uso de la energía.

Tabla II. Demanda de energía estimada por servicio generales de un hotel

Equipos	Cantidad	Potencia demandada (kW)	Tiempo de operación (hrs/día)	Energía consumida (kWh/día)
Lámparas 18 W (pasillos)	30	0,018	2	1,1
Lámparas 15 W (interiores)	20	0,015	2	0,6
Lámparas exteriores 32 W	8	0,032	2	0,5
Computador de escritorio con impresora	2	0,21	6	2,5
Sistema de bomba de 10 HP	1	7,5	4	30,0
Cafetera	1	0,8	4	3,2
Licuadaora	1	0,5	1	0,5
Horno microondas	2	1,2	1	2,2
Motor portón eléctrico (0,5 HP)	1	0,25	2	0,5
Central telefónica	1	0,75	8	6,0
Aire acondicionado central	2	1,4	8	17,6
Cuarto de refrigeración 3/4	1	3,7	6	22,2
Total de energía a ser generada por el sistema de autogeneración (kWh/día)				90,0

El equipamiento presentado en la tabla II, representa el consumo diario de energía del área de servicios generales para un hotel (aproximadamente de tres estrellas [18]), debiendo acotarse que no se incluye la alimentación eléctrica de las habitaciones y como puede observarse el mayor consumo de energía lo demandan los equipos de refrigeración, climatización y el motor de la bomba.

Debido a que existe un segmento amplio de hoteles cuyas demandas de energía en servicio generales es mayor al estimado en censo de carga, se procedió a estimar las necesidades de un hotel como mayor área de construcción y demanda de energía (de condiciones aproximadas a las señaladas para hoteles cuatro estrellas [18]), fijándose como consumo energético a satisfacer diariamente 220 kWh, con los mismos criterios de que solo se conectaran a esta red equipos del área de servicio generales.

El empleo de los sistemas híbridos de autogeneración están diseñado para su uso en las horas de autogeneración previstas en el marco regulatorio venezolano, lo cual constituye un escenario exigente dado que coincide con el horario de mayor demanda en los hoteles [13]; debe entenderse que se considera el consumo de energía en el horario comprendido entre las 12:00 del día y las 8:00 de la noche, el cual se presenta en la Figura 2, como rango sombreado en el intervalo de tiempo considerando, donde los consumos totales considerados

resultan de 90 kWh/día y 220 kWh/día respectivamente para dos tamaños de hoteles.

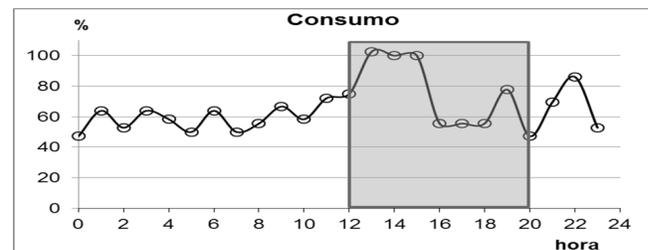


Figura 2. Distribución horaria de la demanda del servicio eléctrico en Hotel. Fuente [18].

A los fines de poder estimar la capacidad de generación requerida, se analiza a continuación la disponibilidad de recursos energéticos promedios. Respecto a la demanda, puede observarse por ejemplo, en la curva anterior presentada que el pico de consumo de energía, como a las 22 horas (10 pm) justificado en un estudio realizado por una cadena internacional de hoteles [18], más sin embargo el mismo no será atendido por el sistema de autogeneración propuesto por estar fuera del rango de horas contempladas, es decir, hasta las 20 horas.

b) Disponibilidad del recurso solar y del viento

Una vez valoradas distintas regiones geográficas en Venezuela (y de América Latina y el Caribe) se determinó que debía contemplarse un rango de valores

de irradiación solar entre 4 a 7 kWh/m²día [14]; y que la mayor frecuencia de valores velocidades promedio de viento se ubican entre 4 a 6 m/s; lo que representa el conjunto predominantes en las distintas regiones geográficas [19]. Estos rangos de valor representan las condiciones más significativas de todo el país [19].

Este análisis se efectúa considerando una instalaciones hoteleras con la necesidad energética descrita, cuya ubicación geográfica se presenta en algunas de las regiones con los rangos de recursos energéticos señalados, por lo que se procedió a estudiar la variabilidad estacional de estos recursos, considerando en el análisis datos estadísticos brindado por las fuentes

de información satelitales, tales como el portal GEOSUR que cuenta con el apoyo de distintas agencias de información y mapas satelitales dirigidos y orientados a la valoración de potenciales energéticos [20], como por ejemplo: la Agencia *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) [21], y *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) [22].

El análisis realizado en conjunto con los datos de las estaciones meteorológicas del país [21] conllevó a formular las distribuciones de los recursos solar y de viento mensual promedio, que se presentan en la Figura 3, bajo las cuales se partió para el análisis de las condiciones nominales de operación de los sistemas propuestos.

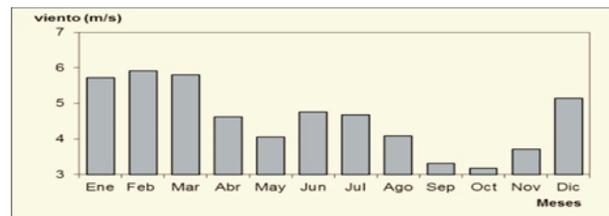
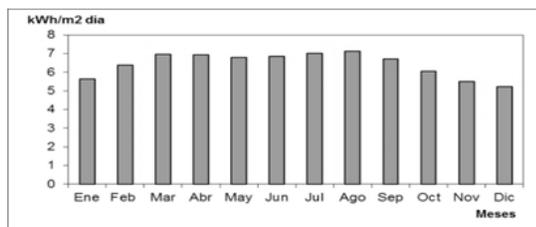


Figura 3. Distribuciones de la irradiación solar y la velocidad del viento [21]

Los datos de irradiación solar promedio y de velocidad promedio del viento presentados en la figura 3, surgen de valores estadísticos cuya información es recogida para el parámetros específico, durante un lapso de al menos 20 años, en el caso de la irradiación solar y velocidad del viento se obtuvieron de las mediciones de la agencia NASA (Surface meteorology and Solar Energy), en cual se generan estos datos con la frecuencia mensual para las coordenadas geográficas de ubicación de Venezuela y de todas las regiones del mundo.

III. RESULTADOS

Con el programa HOMER se realizaron simulaciones con variedades de equipos o componentes tecnológicos seleccionados, para los dos distintos tamaños de hotel (consumo), sobre la base de buscar mínimo costo para cubrir toda la demanda, es decir, el menor sobredimensionamiento [22], los sistemas propuestos fueron productos del análisis y comparación realizada en HOMER que permitió determinar, basado en parámetros económicos y técnicos, cuales eran los dimensionamientos mas óptimos, tal cual se muestra para los sistemas que pueden satisfacer la demanda de 90 Kwh/día, que se presenta en la Figura 4, tomada de este programa.

	PV (kW)	B3kw	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	40	3		60	30	\$ 128,269	1,774	\$ 148,615	0.395	1.00		
	40			120	30	\$ 134,266	1,355	\$ 149,810	0.398	1.00		
	40		30	60	30	\$ 134,188	513	\$ 151,544	0.402	0.98	344	40
	30	3	30	60	30	\$ 145,209	1,295	\$ 160,062	0.425	0.99	170	20
		5	30	120	30	\$ 152,161	5,684	\$ 217,355	0.577	0.76	3,530	359
			30	60	30	\$ 81,948	21,550	\$ 329,127	0.874	0.00	14,597	1,574
			5	30		\$ 70,135	26,222	\$ 370,903	0.984	0.57	12,428	2,469
				30		\$ 30,000	30,715	\$ 382,294	1.015	0.00	15,853	2,920
	20	5	30		30	\$ 118,125	26,945	\$ 427,178	1.134	0.73	11,640	2,469
	20		30		30	\$ 77,990	31,052	\$ 434,154	1.152	0.51	14,159	2,920

Figura 4. Ordenamiento de las opciones tecnológicas para para 90 kWh/día.

A partir de datos técnicos y económicos de los equipamientos, el programa HOMER [23], logra mediante iteraciones de modelos matemáticos determinar las combinaciones posibles de equipamiento cuyo desempeño son superiores en cuanto a los parámetros fijados, presentando este programa un ordenamiento para todas las opciones en orden de menor costo equivalente de energía, tal como se muestra en la Figura 4.

Se consideró irradiación solar de 5 kWh/m²/día y velocidad promedio del viento a 4m/s, como valores nominales de diseño de estos sistemas. Se puede mencionar que permiten cubrir el consumo de energía diario. Una vez analizado en conjunto de opciones presentados por HOMER, se procedió a seleccionar los que presentaban menores costo de energía donde los dos sistemas propuestos quedaron conformados por los siguientes elementos en la Tabla III:

Tabla III. Componentes de los sistemas híbridos propuesto para hoteles

Consumo a satisfacer	Módulos foto-voltaicos	Aerogeneradores de 3 kW	baterías del tipo Hopecke 8 OPzS 1000	Inversor
90 kWh/día	30 kW	3	120	30 kW
220 kWh/día	100 kW	5	180	75 kW

Estos sistemas pueden ser integrados en diversas áreas de la estructuras actuales de los hoteles, tal es el caso de: Las azoteas, techado de estacionamientos, recubrimiento de paredes externas, como aleros de ventanas, entre otras ubicaciones, que en algunos casos pueden ser integradas para hacer aún más atractivo paisajísticamente al hotel, en simultáneo con la finalidad descrita en esta investigación.

La estimación de área que se requerirá para la instalación de los paneles fotovoltaicos es de aproximadamente 150 m² para el sistema de 90 kWh/día, considerando los espaciamientos y normativa eficiencia (en una relación de 5 m² por cada 1 kWp) y de 500 m² para la propuesta de 220 kWh/día, lo cual puede disponerse si se consideran las azoteas y espacios abiertos como estacionamientos, entre otros, donde pueda representar un beneficio de sombreado generado por el sistema fotovoltaico, entre otros atractivos.

En el análisis realizado se encontró que la distribución de la capacidad de generar energía, es variable entre la generación solar fotovoltaica y la eólica durante los distintos meses del año, tal como se muestran en la Figura 4. Con los dimensionamientos propuestos se satisface la demanda prevista en todos los meses del año para ambos hoteles, encontrándose que predomina la generación solar fotovoltaica (cercano al 68% en promedio de aporte).

Es importante destacar que mediante las simulaciones se encontró que la fuente de energía fotovoltaica tiene predominio para la generación en los sistemas propuestos, dado los excelentes valores de irradiación solar que se presenta en el país y dado que los precios de esta tecnología ya se comercializan en Europa bajo la misma paridad que los costos de la red eléctrica (en el año 2012 el precio de los módulos fotovoltaicos fue de 0,60 euro/vatios [17]) permiten obtener costo de energía inferiores incluso a los de empleo de gas natural de la fuentes convencionales.

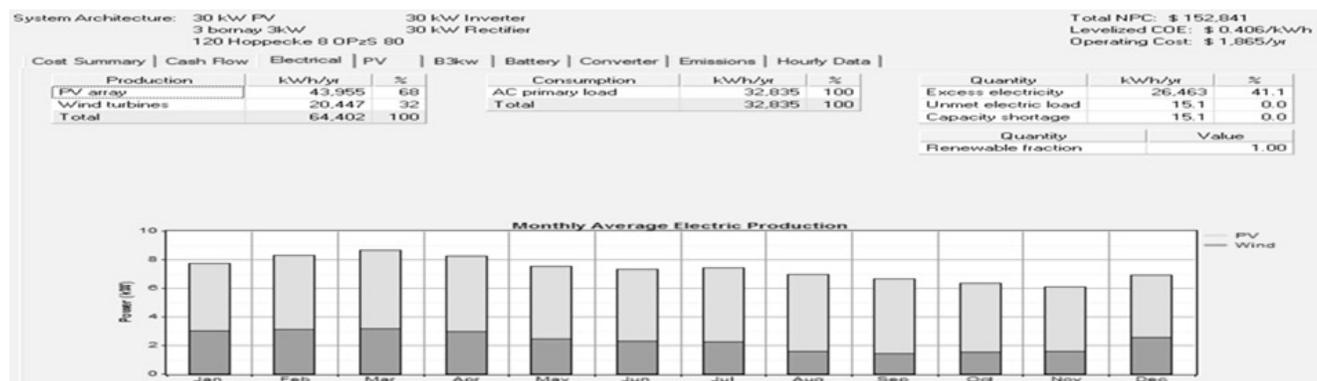


Figura 4. Distribución de la capacidad de generación del sistema híbrido.

En la Figura 4, se presenta el balance del aporte de cada una de las fuentes de energía, que es el producto de la iteración del programa HOMER, con los datos aportados para cada sistema propuesto, se presenta a manera de ejemplo el sistema 30 kW PV, en el cual puede observarse, el predominio antes mencionado de un fuente fotovoltaica y el comportamiento de cada fuente para cada uno de los meses del año, presentándose además elementos conocidos como “apagones” (*Unmet electric load*), lo que representan la probabilidad de falla o pérdida de carga de los sistemas, es decir de 0% de probabilidad de perder la carga, por lo que representa un sistema confiable.

Puede resaltarse además, que los sistemas híbridos valorados, presentan como característica la cualidad de que en algunas horas del día presentan un potencial mayor, a la energía que le es demandada, lo que se calcula mediante el término electricidad excedente o exceso de capacidad energética no utilizada, que provienen del uso del término en inglés *Excess Electricity*, aunque debe señalarse que no se trata de una energía real que haya sido generada y posteriormente no utilizada, sino de una físicamente posible de generar para un régimen estable.

En la Figura 4, se observa claramente el valor de generación de 26 463 kWh/año, lo que representa la sumatoria del cálculo de energías que estarán disponible de necesitar para su producción en algunas horas del día por parte del sistema, y que en el caso de un hotel pequeño, esta información es ventajosa y puede analizarse su distribuida por meses, en una gráfica que también es aportada por el programa HOMER, y se representa en la siguiente Figura 5, esto con el fin de valorar una oportunidad real que existe para un mayor aprovechamiento de energía con estos sistemas, siempre y cuando se programe el alerta en el controlador bidireccional para su posible uso; lo cual significaría un ahorro adicional en cuanto a la energía consumida por el hotel y una disminución en su facturación mensual.

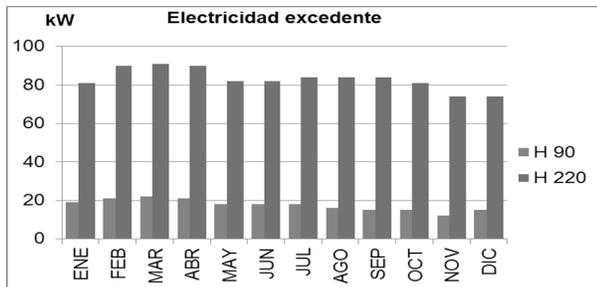


Figura 5. Exceso de capacidad energética no utilizada en ambos hoteles

En cuanto a la valoración económica de estos sistemas híbridos, se encontró que el valor o Costo equivalente de la energía (CEE) para el sistema híbrido del hotel más pequeño, se presenta a razón de 0,442 \$/kWh, mientras que para un sistema diésel puro que alimente una carga similar, resulta de 1,015 \$/kWh. Para el caso del hotel de mayor tamaño, se obtuvo un CEE de 0,393 \$/kWh y de 1,036 \$/kWh para la opción diésel respectiva donde se obtiene el gráfico de flujo de caja en la Figura 6.

El análisis que se presenta en la Figura 6, se basa en la comparación de los costos de empleo de un sistema híbrido propuesto (denominado sistema base) respecto a los costos de emplear un sistema de generación diésel puro (*current system*) que como puede observarse en la gráfica generada en HOMER, una vez analizado un periodo de vida útil de 20 años, podemos observar como a partir 4,6 años resulta más económico el uso de los sistemas propuestos, esto dado los altos costos de mantenimiento, combustibles, reposición que ameritan los sistemas de generación diésel.

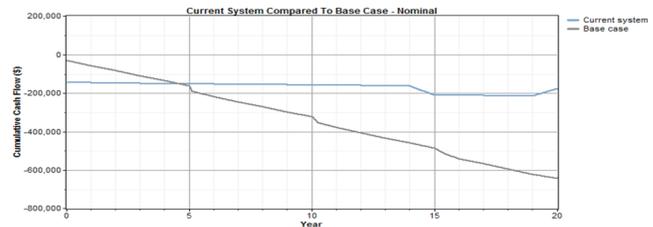


Figura 6. Flujo de caja para los sistemas híbrido y diésel.

El análisis a valores anualizados de los costos de cada una de las dos tecnologías analizadas considera per se todos los costos que se incurren a lo largo de los 20 años, considerando en promedio la sustitución total del equipo de generadores diésel cada aproximadamente 5 años, debido a que es su característica técnica mientras que la durabilidad del sistema híbrido puede alargarse a 20 años puesto que es mucho menor el reemplazo de parte y mantenimiento, además que no considera respaldo alguno diésel por lo que no amerita combustibles.

Respecto a la contaminación ambiental, los sistemas propuestos presentan nulas emisiones contaminantes durante la explotación de los sistemas con respecto las generadas por la opción de sistemas de generación diésel, los cuales emiten un conjunto significativo de contaminantes al aire que son evitadas con el sistema híbrido, las cuales se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Comparación de emisiones contaminantes de las opciones de sistemas energéticos

Emisiones contaminantes	(kg/año)			
	SH 90	GD 90	SH 220	GD 220
Dióxido de carbono	0	36,6	0	103 126,0
Monóxido de carbono	0	90,4	0	256,0
Hidrocarburos no quemados	0	10,0	0	28,3
Partículas en suspensión	0	6,8	0	19,3
Dióxido de azufre	0	73,5	0	208,0
Óxidos nitrosos	0	806,0	0	2 282,0

Fuente: Estimación a través de HOMER 2.81, donde SH 90 es el sistema que equivale a 90 kWh/día y SH 220 el que equivale a 220 kWh/día, GD 90 y GD 220 el equivalente en un motor generador diésel.

Debido a que los aerogeneradores propuesto son de pequeña escala, es decir de 3 kW, no se espera que generen ruido ni perturbación a los huéspedes y dado que no ameritan gran altura para su instalación (menor a 15 metros), y adicionalmente cada sistema solo contempla 3 equipos cada uno, el impacto que pudiera ocasionar en cuanto al vuelo de aves es mínimo, por lo que puede mencionarse como muy bajo el impacto ambiental que pueda causar los nuevos sistemas propuesto.

Finalmente debe declararse, que los sistemas híbridos propuestos, requieren de un bajo mantenimiento, de menores riesgos para su manipulación que los sistemas de generación diésel, a la vez que son autónomos en cuanto a la necesidad de insumos externos como el combustible, para su funcionamiento y pueden ser empleado de forma confiable como respaldo de la red eléctrica, presentan múltiples ventajas para la generación eléctrica en el sector hotelero y turístico.

IV. CONCLUSIONES

Se presentan dos dimensionamientos de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos para ser empleados como sistemas de autogeneración, para suplir de energía eléctrica las horas de mayor demanda en hoteles, posterior al análisis de los rangos de recursos energéticos, se encontró que para las condiciones típicas de un hotel con demandas entre 90 kWh/día y 220 kWh/día, el costo equivalente de energía es de 0,442 \$/kWh y 0,393 \$/kWh respectivamente, mientras que se incurría en costos de 1,015 \$/kWh y 1,036 \$/kWh respectivamente si se emplean sistemas de generación

diésel convencionales.

La inversión económica para los sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos propuestos fueron evaluadas encontrando un tiempo de recuperación de estimado en 4,6 años, dada la necesidad de reemplazo total de los sistemas de generación diésel posterior a 15000 horas de operación. También se detectó una notable reducción del nivel de contaminación característico del diésel, a valores casi nulo para los sistemas híbridos. Pudiendo señalarse la bondad de que los sistemas propuestos pueden convertirse en un nuevo atractivo para el hotel, gracias a la propiedad de integrarse paisajísticamente al ornamento externo del mismo, facilitando el ahorro de energía y el cumplimiento de las resoluciones legales de eficiencia energética en Venezuela.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WORLD ENERGY COUNCIL. Recursos energéticos globales, Encuesta 2013: Resumen.). [Consultado el: 8 de Febrero de 2015]. Disponible en : <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/Traduccion-Estudio-Recursos-Energeticos1.pdf>.
2. Molla Shahadat Hossain Lipu, Md. Shazib Uddin, Muhammad Ahad Rahman Miah “A Feasibility Study of Solar-Wind-Diesel Hybrid System in Rural and Remote Areas of Bangladesh” . INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH , Vol.3, No.4, (2013). [Consultado el: 8 de Febrero de 2015]. Disponible en: <http://ijrer.com/index.php/ijrer/article/view/898>
3. Corredor, Edwin Cabeza, Maria A. Cabeza, Maria E ”El turismo sostenible y endógeno: una nueva actividad económica en Venezuela” UNIVERSIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGIA, Volumen 12, N° 47, junio (2008). pp 99-103[Consultado el: 15 de Febrero de 2015].. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212008000200007&script=sci_arttext
4. Yahya Ali , Mairna Mustafa , Shireen Al-Mashaqbah , Kholoud Mashal , Mousa Mohsen “Potential of energy savings in the hotel sector in Jordan” ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT 49(2008)3391–3397. [Consultado el: 15 de Febrero de 2015]. Disponible en: <https://eis.hu.edu.jo/deanshipfiles/pub10164173.pdf>
5. Republica Bolivariana de Venezuela. Resolución 76. Caracas, 2011. [Consultado el: 8 de Febrero de 2015].

- Disponible en: Disponible en: <http://www.mppce.gov.ve/inicio/ministerio/resoluciones>.
6. G.J. Dalton, D.A. Lockington, T.E. Baldock “Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations” *RENEWABLE ENERGY* 34 (2009) 1134–1144. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108002619>
 7. G.J. Dalton, D.A. Lockington, T.E. Baldock “A survey of tourist operator attitudes to renewable energy supply in Queensland, Australia” *RENEWABLE ENERGY* 32 (2007) 567–586. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:127656>
 8. Sebastián, E. “Electrificación rural para comunidades aisladas en Venezuela”. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible : <http://eliseosebastian.com/blog/electrificacion-rural-para-comunidades-aisladas-en-venezuela/> 2010. Revista: Bornay.com.
 9. Rodríguez, C. y Sarmiento, A., “Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural”. *Revista Ingeniería Mecánica*. Vol. 14. No. 1, Enero-Abril 2011, p. 13-21, Cuba, 2011. ISSN 1815-944. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. en la página: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/3>
 10. Bohdanowicz, P. Martinac, I. “Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels—Case study of Hilton International and Scandic in Europe” *ENERGY AND BUILDINGS* 39 (2007) 82–95. [Consultado el: 8 de Febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806001563>
 11. Hotel Energy Solutions Best Practices Guide: Successful Renewable Energy Technologies Integration Case Studies in SME Hotels, Hotel Energy Solutions project publications (2011). [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://hotelenergysolutions.net/publication/best-practices-guide-successful-eet-integration-sme-hotels>
 12. Bernal-Agustín, J. Dufo-López, R. “Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems” *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS* 13 (2009) 2111–2118 ISBN: 1-60132-192-9 [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109000215>
 13. TECHNOSUM. Paneles Mono cristalino 24 volt y 13 % de eficiencia. Sitio internet: <http://www.technosun.com/.../TECHNO-SUN-lista-precios-solar-fotovoltaica.pdf> - España. Disponible (on línea) Febrero, 2015.
 14. HOPPECKE. Baterías de plomo ácido, tubulares de 2V, 1000 Ah. Sitio internet disponible en Febrero 2015, web site: <http://www.hoppecke.com/>. 2015.
 15. BORNAY. Aerogenerador de 3 kW de 24 volt en CA con regulador. Sitio Disponible (en línea) Febrero 2015. Disponible en : <http://www.bornaycomercial.es/cgibin/articulos.asp?cat=000>.
 16. Inversor Sunny Island 5048. Inversor SMA 5 kW, 48V, 100A con acoplamiento AC y DC .Sitio internet Disponible (en línea) Febrero 2015. Disponible <http://www.technosun.com/es/productos/inversor-cargador-SMA-SUNNY-ISLAND-SI5048.htm>.
 17. Diesel Yanmar. Motores de generación diésel de 10,15, 20,25 kW de potencia. Sitio internet: <http://spanish.alibaba.com/products/yanmar-Diesel-engine.html>. Disponible (en línea) Diciembre 2014.
 18. Nuñez-Cacho del Àguila, J. “Gestión Energética en Hoteles”. UNION FENOSA, Madrid, 2013. [Consultado el: 25 febrero del 2015]. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/gestion-energetica-en-hoteles-fenercom.pdf>
 19. CVG. “ Estimación de los requerimientos de generación del sistema eléctrico nacional a mediano y largo plazo”. División de planificación de sistemas eléctricos, Editor. Caracas, 2007. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: http://www.soberania.org/Archivos/CVG-Edelca_Informe_2007.pdf
 20. Agencia NASA National Aeronautics and Space Administration .[Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.
 21. Agencia NREL, National Renewable Energy Laboratory. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/>
 22. Rodríguez, C. “Compensación del número de paneles y baterías en sistemas fotovoltaicos autónomos”.

Revista Universidad, Ciencia y Tecnología. UNEXPO. uct v.15 n.59 Puerto Ordaz jun. 2011. ISSN 1316-4821. [Consultado el: 25 de Febrero del 2015]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212011000200002&script=sci_arttext

[Consultado el: 28 de Febrero del 2015]. Disponible: <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-news/archive-2012/2012/kw18/chinese-pv-producer-phono-solar-to-supply-german-system-integrator-sybac-solar-with-500-mw-of-pv-modules.html>.

23 Chinese PV producer phono Solar to supply German System integrator sybac solar With 500 MW of PV modules.