

## CONTENIDOS

### Globales

La eólica supera los 10 GW de capacidad instalada en Canadá.

Un aerogenerador sin aspas es posible, y es español.

Un novedoso sistema de unión para tramos de palas de aerogenerador recibe el Premio Eolo de Innovación.

Nuevo parque eólico para Gestamp en Brasil.

### La Propuesta del Mes

Análisis de factibilidad de un parque híbrido (eólico y solar fotovoltaico) de 15 MW en Santa Lucía.

## EDITORIAL

Estimado lector:

*A partir de la década del 80 se comenzaron a desarrollar los primeros aerogeneradores comerciales, su capacidad instalada, la eficiencia y el diseño visual. En la actualidad, estos han evolucionado considerablemente.*

*A finales de junio de 2014, la potencia eólica en todo el mundo llegó a 336 327 MW, de los cuales 17 613 MW se añadieron en los primeros seis meses de ese año. De esa cifra, el 37 % corresponde a los países que forman parte de la Unión Europea (28 en la actualidad) y el 36 % a los países que forman los BRIC (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica). A China le corresponde el 29 % de la capacidad mundial instalada y el 19 % a los Estados Unidos.*

*Dentro de la política de desarrollo de las fuentes renovables de energías de Cuba, el uso de la energía eólica tiene un peso importante, por lo que mantener un acercamiento al tema es de gran interés para los especialistas e investigadores del sector.*

Anaely Saunders

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA)

Email: [anaely@cubaenergia.cu](mailto:anaely@cubaenergia.cu)



### ! IMPORTANTE

La información que se publica en el boletín no es responsabilidad de la editorial CUBAENERGÍA.

### REDACCIÓN **renovable.cu**

**CUBAENERGÍA**, Calle 20 No 4111 e/ 18A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, CUBA. Teléfono: 206 2064. [www.cubaenergia.cu/](http://www.cubaenergia.cu/)  
**Consejo Editorial:** Lic. Manuel Álvarez González / Ing. Anaely Saunders Vázquez. **Redactor Técnico:** Ing. Antonio Valdés Delgado. **Edición:** Lic. Dulce María Medina García. **Compilación/ Maquetación:** Grupo de Gestión de Información. **Diseño:** D.i. Miguel Olano Valiente. **Traducción:** Lic. Odalys González Solazabal. **RNPS 2261**

## LA EÓLICA SUPERA LOS 10 GW DE CAPACIDAD INSTALADA EN CANADÁ

15/06/2015

<http://www.energias-renovables.com/>

Se transforma así en el séptimo país en el mundo en hacerlo y en el segundo en el continente americano después de Estados Unidos. Concretamente, según datos de la Asociación Canadiense de Energía Eólica (CanWEA, por sus siglas en inglés), hay 10 204 MW de capacidad instalada.



Según el presidente de CanWEA, Robert Hornung, “alcanzar el hito de 10 000 MW confirma que Canadá es un líder global en el desarrollo de la energía eólica”, además de señalar que “la competitividad de los costos de la energía del viento, junto con el hecho de que no produce emisiones de gases de efecto invernadero, significa que está bien posicionada para continuar su rápido crecimiento como factor que contribuye a la corriente principal de suministro de energía eléctrica de Canadá”.

Durante los últimos cinco años se ha instalado en el país más potencia eólica que cualquier otra forma de generación de electricidad. En promedio, se instalan anualmente 1.3 GW, que se espera superar este año, de acuerdo con CanWEA.

Hay parques eólicos operando en todas las provincias de Canadá y en los Territorios del Noroeste y el Yukon, que en conjunto cubren casi el 5 % de la demanda eléctrica doméstica, lo que significa, según CanWEA, satisfacer las necesidades de más de 3 millones de hogares canadienses promedio cada año.

Ontario es la provincia con mayor capacidad instalada, 3.92 GW; seguido de Quebec, 2.88 GW; y Alberta, 1.47 GW.

## UN AEROGENERADOR SIN ASPAS ES POSIBLE, Y ES ESPAÑOL

06/06/2015

<http://www.omicron.com>

*Una empresa se ha desempeñado en romper los esquemas tradicionales de los aerogeneradores, para crear uno sin aspas.*



Las turbinas que generan la electricidad a partir de energía eólica están perfeccionadas hasta en el más mínimo detalle, desde su forma exterior hasta su interior; todo con el objetivo de conseguir la máxima eficiencia energética mientras funcionen. Actualmente son un campo asentado y maduro, pero eso no quiere decir que una alternativa no pueda romper los esquemas y demostrar que hay otra forma de hacer otras cosas: unos españoles quieren hacer eso mismo y romper los conceptos tradicionales de aerogenerador.

Vortex Bladeless es una tecnología española que nació en 2002 con el objetivo de hacer un aparato más sencillo que fuera capaz de recolectar energía del viento. La estructura de Vortex se basa en los remolinos que forma el viento para empezar a oscilar, obteniendo energía mecánica que se puede convertir en energía eléctrica.

La compañía española detrás de Vortex destaca la sencillez de su producto: menos material equivale a ser más económico y respetuoso con el medio ambiente, y menos costos por concepto de mantenimiento. También es mucho más silencioso, caben más en menos espacios si los comparamos con los aerogeneradores tradicionales, y es mucho más seguro para las aves.

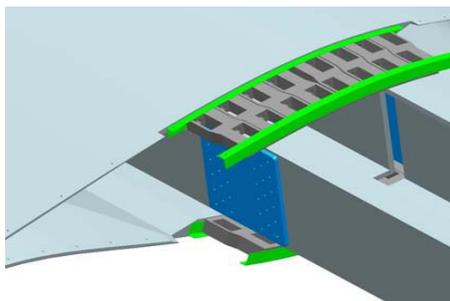
## UN NOVEDOSO SISTEMA DE UNIÓN PARA TRAMOS DE PALAS DE AEROGENERADOR RECIBE EL PREMIO EOLO DE INNOVACIÓN

29/05/2015

<http://www.energias-renovables.com/articulo/cener-indeol-y-vicente-guill-ganan-los-20150529>

Un novedoso sistema de unión para tramos de palas de aerogenerador recibió el Premio Eolo de Innovación, y la fotografía *Convivencias*, de Vicente Guill, se alzó con el Premio Eolo de Fotografía 2015. Estos galardones, que otorga la Asociación Empresarial Eólica (AEE) con motivo del Día Mundial del Viento, se entregaron el 22 de junio en la Cena del Sector del I Congreso Eólico Español.

AEE otorgó este premio por su proyecto *Desarrollo y validación de IndeModular, nuevo sistema de unión para tramos de palas de aerogenerador*, el cual describe un sistema que se puede usar en las estructuras existentes en el mercado y no produce un elevado impacto en la cadencia de fabricación.



El sistema IndeModular fue desarrollado por CENER y está protegido por una patente española concedida con examen previo, la cual se está extendiendo actualmente a otros países como Estados Unidos, China y Europa, entre otros. La empresa propietaria de la patente es INDEOL, que lo comercializa en la actualidad.

El jurado destaca la elevada calidad de los trabajos recibidos en áreas tan diversas como los sistemas de pronósticos, la optimización energética, la integración de la eólica en sistemas de energía eléctrica, o la viabilidad para un suministro 100 % renovable, entre otros.

La iniciativa del Premio Eolo de Innovación se enmarca dentro de las líneas de actuación de AEE y la plataforma tecnológica del sector eólico, RELTEC, para apoyar la innovación y el desarrollo tecnológico nacional en un contexto de fuerte competencia internacional, globalización de los mercados y optimización de costos.

## NUEVO PARQUE EÓLICO PARA GESTAMP EN BRASIL

26/05/2015

<http://www.energetica21.com/noticia/nuevo-parque-elico-para-gestamp-en-brasil>

Gestamp Wind ha conseguido un nuevo contrato de venta de electricidad con una duración de 20 años para un parque eólico en Brasil.

El proyecto está localizado en Rio Grande do Norte, donde la compañía ya cuenta con diversos proyectos, y supondrá para la zona una inversión aproximada de 45 millones de euros, con una previsión de ingresos anuales que asciende a 5.6 millones de euros durante 20 años.

Con esta adjudicación Gestamp Wind llega a la cifra de 464 MW en Brasil: 112 MW de los que ya están en operación, 128 MW en construcción (se están construyendo durante este año) y el resto se construirán entre 2015 y 2018.

## Eventos

---

### BRAZIL WINDPOWER 2015

País: Brasil

Lugar: Río de Janeiro

Fecha: 01/9/2015 – 03/9/2015

<http://www.brazilwindpower.com/>

Brasil Windpower, el evento más grande de la energía eólica en América Latina, ofrece excelentes oportunidades de negocio, además de la conferencia sesiones del programa se centraron en temas relevantes para el sector eólico. En la pasada edición, el evento atrajo a 2.207 participantes, que representan a 804 empresas, con 40 patrocinadores y 102 expositores.

Organizado por: GWEC, ABE Eólica; Grupo CanalEnergia

# La Propuesta del Mes

---

## **Análisis de factibilidad de un parque híbrido (Eólico y Solar fotovoltaico) de 15MW en Santa Lucía.**

Ing. Fernand Larry Mc Gras Brown\* , Dra. Yolanda Llosas Albuerne, MSc. Jorge Pardo Gómez\*\*

\*Ingeniero Automático de Central Termoeléctrica en Santa Lucía

\*\*Universidad de Oriente, Cuba

### **Resumen**

---

El trabajo presentado responde a la necesidad de un análisis de factibilidad de un parque híbrido (eólico-solar fotovoltaico) de 15 MW en Santa Lucía para la diversificación de las fuentes de energías, reduciendo el uso del combustible fósil y al mismo tiempo disminuir la emisión de gases efecto invernadero en el proceso de generación de energía eléctrica. En este trabajo, se estimó la producción media anual de energía eléctrica del parque híbrido, que se puede entregar a la red energética nacional del país. Para ello se hizo una revisión bibliográfica de las generalidades de la energía eólica y de la energía solar fotovoltaica que da una vista panorámica del análisis que conlleva un parque híbrido (eólico-solar fotovoltaico). La aplicación del software HOMER fue utilizada para simular el sistema y luego comparar la producción anual media de la energía eléctrica estimada.

También, se realizó un análisis del estudio económico-financiero e impacto ambiental del parque híbrido. Los resultados obtenidos del análisis económico-financiero mostraron indicadores positivos. El valor actual neto obtenido es de \$EC47 854 863.48, un TIR de 20 % y un Payback simple de 5 años.

### **Abstract**

---

This paper is developed through an investigation project about a specific problem, which refers to the need of a 15 MW feasibility analysis of a hybrid (wind-solar photovoltaic) farm in St. Lucia for the diversification of energy sources, reducing the use of fossil fuel and at the same time reducing greenhouse gas emissions in the process of electricity generation. In this work, the average annual production of electrical energy the hybrid farm can deliver to the country's national grid is estimated. To be able to achieve this, a bibliographical review of the generalities of both wind and solar photovoltaic energy was done in order to give a panoramic view of the analysis that the hybrid farm (wind-solar photovoltaic) entails. The HOMER software application was used to simulate the system and then compare results to the estimated average annual production of electrical energy.

Also, an analysis of the economic-financial study and environmental impacts of the hybrid farm was realized. The results obtained from the economic-financial analysis showed positive indicators. The net present value obtained is \$EC47 854 863.48, an internal rate of return of 20 % and a simple Payback of 5 years.

**Palabras claves:** Cuba; parque híbrido (eólico-solar fotovoltaico); análisis de factibilidad.

## 1. Introducción

La situación energética a escala mundial ha comenzado a presentar los primeros síntomas de crisis, encabezados por los elevados precios del barril de petróleo y las actuales contiendas bélicas en el Medio Oriente por el dominio de los yacimientos, algo que muestra la desesperación de las grandes Transnacionales Petroleras ante el agotamiento de hidrocarburos en otros territorios [1]. Se debe enfocar la mirada hacia la naturaleza y aprovechar la energía limpia e inagotable que esta ofrece. En la década pasada, tanto en Santa Lucía como en el resto del mundo, los temas sobre la conservación de recursos naturales y la protección del ambiente han logrado gran importancia. El empleo de fuentes energéticas renovables es un indicador del grado de desarrollo de una nación.

La energía renovable es cualquier tecnología que exclusivamente depende de una fuente de energía que se regenera naturalmente durante un tiempo corto y se deriva directa e indirectamente del sol, del agua u otros elementos naturales y mecanismos del ambiente. En otras palabras, se deriva de recursos inagotables como el sol (energía solar), los ríos y corrientes de agua dulce (energía hidráulica), los mares y océanos (energía mareomotriz), el calor de la tierra (energía geotérmica), las olas (energía undimotriz), los desechos orgánicos (energía biomasa) y el viento (energía eólica).

Además, con la utilización de la energía renovable se pueden evitar fácilmente los problemas relacionados con el medio ambiente, como la lluvia ácida; “es una forma de reducir la contaminación de  $SO_2$  y de  $NO$  producidos por la combustión de combustibles fósiles son transportados a grandes distancias a través de la atmósfera y depositados vía la precipitación sobre la tierra”, capa ozono, cambio climático global, y la energía nuclear. Los sistemas de energía eólica y solar se consideran fuentes de generación de potencia prometedora debido a su disponibilidad y ventajas topológicas. La radiación solar se puede transformar directamente en energía eléctrica. A este fenómeno se le denomina efecto fotovoltaico [2]. La combinación de un sistema con una turbina eólica y solar fotovoltaico (FV) se le llama sistema híbrido. La principal ventaja de un sistema híbrido del viento y del sol es que la producción eléctrica del sol y del viento se usa simultáneamente, con la finalidad de aumentar el rendimiento del sistema. A menudo, cuando no hay sol, hay mucho viento. Cada hora de kilowatt (kWh) generado de recursos renovables salva el ambiente de la incineración de combustibles fósiles.

La central termoeléctrica de Santa Lucía (LUCELEC) es el único abastecedor de energía en el país y tiene 9 generadores diesel con una capacidad total instalada de 76 MW (Mega-watts). Un sistema híbrido puede suministrar niveles considerables de electricidad inyectada a la red energética cuando está correctamente diseñado. Santa Lucía es una pequeña isla que posee fuentes renovables de energía, que se pueden explotar para aumentar su intensidad energética y reforzar su seguridad energética. El país es relativamente nuevo en la investigación y proyectos destinados a la implementación del uso de la energía alternativa. Santa Lucía es uno de los países del Caribe donde más revisión geotérmica se ha realizado. La evaluación del potencial geotérmico de la isla comenzó en 1951. Actualmente el gobierno de tiene un memorándum de acuerdo (MOU) con la Corporación UNEC de Estados Unidos, una filial de QualibouEnergy Inc. para desarrollar una planta termoeléctrica de 120 MW (Mega-watts) para el 2015 [3]. Esto compensará las necesidades energéticas de Santa Lucía durante los próximos 20 años o más. Cualquier otro recurso entonces, no será necesario.

Actualmente, el riesgo de fracaso de LUCELEC es muy alto porque depende únicamente del diesel. El estudio de tecnologías limpias permite la utilización de recursos renovables a fin de satisfacer las necesidades de energía requeridas.

La figura 1, muestra las curvas de demanda diaria del sistema de LUCELEC para una semana determinada. Se muestra además, un aumento consecuente de la carga a aproximadamente desde las 5:30 a.m. hasta las 11:00 a.m., seguido por una meseta que dura hasta las 3:00 a.m. aproximadamente. El pico diario ocurre típicamente alrededor de las 2:00 p.m. La demanda decae al final de la tarde e incorpora un pico menor temprano por la noche. La demanda empieza a caer de nuevo a las 8:30 p.m. aproximadamente y a partir de esta hora las 5:30 a.m. donde tiende a bajar nuevamente.

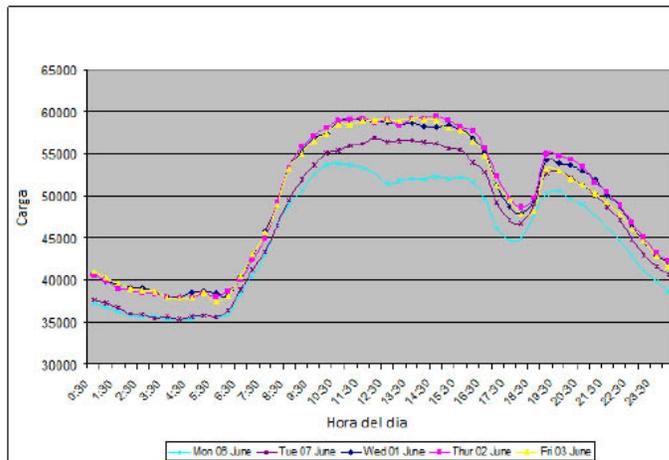


Figure 1. Curva de demanda diario del sistema para Junio 01-07, 2011

Durante el mediodía los rayos del sol son más intensos y normalmente la velocidad del viento es más alta por la noche. La mezcla de la energía eólica y solar servirá como un medio para aliviar las demandas durante el día aunque haya poco crédito para la capacidad de generación con el viento y la solar FV. La energía solar está disponible cuando la demanda está en el pico.

Todo lo anterior determina el motivo de la investigación efectuada como la necesidad de un análisis de factibilidad de un parque híbrido (eólico-solar fotovoltaico) de 15 MW en Santa Lucía para la diversificación de las fuentes renovables de energías, para reducir el uso del combustible fósil, y al mismo tiempo disminuir la emisión de gases efecto invernadero en el proceso de generación de energía eléctrica.

## 2. Materiales y métodos

Productividad final (Final Yield):

Estos parámetros son “Final Yield”,  $Y_f$  (kWh/kWp, horas equivalentes de sol, HES), productividad de referencia “Referente Yield”,  $Y_r$  y “Performance Ratio”.

Productividad final (Final Yield): es la relación existente entre la producción eléctrica del generador en un periodo determinado de tiempo (día, año, etc) expresada en kWh y la potencia nominal instalada del generador fotovoltaico,  $P_0$ , expresada en kWp. Se puede interpretar como el número de horas por día/año que el generador necesitaría operar en condiciones nominales para producir la misma cantidad de electricidad que la observada.

$$Y_f = \frac{E}{P_0} \quad (\text{kWh/kWp}) \text{ ó } (\text{horas}) \quad (2)$$

Productividad de referencia (Reference Yield): es el resultado de dividir la radiación recibida sobre el plano del captador a lo largo de un tiempo (día, año, etc),  $G_a$ , expresada en  $KWh/m^2$ , por la irradiancia nominal de ensayo de los generadores fotovoltaicos,  $G_{STC} = 1 \text{ KW}/m^2$

( $1000W/m^2$ ).

$$Y_r = G_a / G_{STC} \quad (3)$$

Se expresa en horas y se llama productividad de referencia porque sirve para calcular la producción máxima teórica del sistema por KWP.

Performance Ratio (PR): es la relación entre la productividad final del sistema  $Y_f$ , y la productividad de referencia,  $Y_r$ . Es un valor independiente de la localidad, y por lo tanto de las condiciones climáticas y tamaño del sistema e indica las pérdidas totales con relación a temperatura de los módulos, la utilización incompleta de la irradiancia y las pérdidas genéricas debidas los diferentes componentes del sistema. Su valor real puede oscilar entre 0.6 y 0.8, teniendo en cuenta que su valor máximo si no existirían pérdidas.

## 2.1 Inclinación de los paneles

Otro punto importante para el diseño de estas instalaciones fotovoltaicas, es la inclinación que deben tener los módulos para la captación de la mayor cantidad de radiación solar.

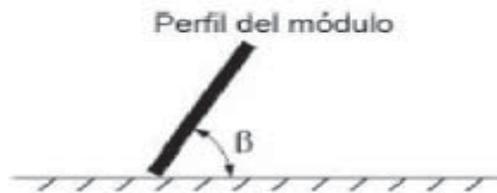


Figura 2. Inclinación de los módulos

El cálculo del ángulo óptimo se realiza teniendo en cuenta que

$$\beta = 3,7 + 0,69 \Phi \quad (4)$$

Donde  $\Phi$  es la latitud del lugar del proyecto.

## 2.2 Distancia mínima entre filas de módulos

Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la distancia “d”, medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura “h”, que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia “d” será superior al valor obtenido por la expresión [16]:

$$d = \frac{h}{\text{tag}(61^\circ - \text{latitud})} \quad (5)$$

Donde la altura “h” de los paneles será el seno del ángulo formado con la horizontal la por la longitud del panel (sen β x longitud del panel en metros). La distancia de separación entre filas de módulos depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado esté el panel, se deberá guardar mayor distancia entre filas.

## 2.3 Inversor

A la hora de entregar la energía eléctrica a la red, es necesario tratarla para que cumpla las características establecidas para inyectarla a dicha red, como por ejemplo debe ser senoidal, con una frecuencia de 50 Hz y unos valores de tensión determinados para no crear perturbaciones en la red de suministro.

El inversor es el equipo electrónico que permite inyectar en la red eléctrica comercial la energía producida por el generador fotovoltaico. Su función principal es convertir la corriente continua procedente de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

Las instalaciones fotovoltaicas tienen un elevado costo y no se pueden permitir fallos e imprudencias en la explotación de estas instalaciones, por este motivo los inversores deben tener un alto rendimiento y fiabilidad. El rendimiento de los inversores oscila entre el 90 % y el 97 % y depende de la variación de la potencia de la instalación, por lo que se intentará que el inversor trabaje con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la potencia de entrada.

## 2.4 Contador

Elemento que contabiliza la cantidad de electricidad que se inyecta en la red; deberá ser un contador independiente del que registra el consumo que se hace de la red o bien en su caso usar un contador bidireccional que mida la diferencia entre lo que se consume de la red y lo que se entrega.

## 2.5 Cables de conexión y protección

Existen normas para calcular los cables de conexión requeridas en una instalación fotovoltaica. La instalación solar fotovoltaica normalmente está dividida en varios tramos de conexión entre los diferentes equipos y cajas de conexión que la componen.

Los tramos de cableado poseerán diferentes secciones de conductores puesto que la carga que circulara por cada uno de ellos será diferente, en dependencia de los equipos que interconecten.

Además de los cables, el sistema debe tener un cierto nivel de protección en su funcionamiento. Es necesario equipar la instalación con protecciones adicionales que protejan tanto la seguridad de la instalación y los equipos como la seguridad de las personas responsables de su funcionamiento y mantenimiento.



Figura 3. Ilustración de posibles sitios



Figura 4. Vista aérea de Sugar Mill y Pointe de Caille para un parque eólico Caille, sitio sugerido para el parque eólico

En primer lugar, las velocidades de viento esperadas fueron en Sugar Mill más alta que en Pointe de Caille debido a la mejor exposición al viento por el predominio de terreno montañoso. En segundo lugar, para una operación a largo plazo, hay niveles de corrosión más altos en el sitio costero del Pointe de Caille y se supuso que este factor es igualmente importante [13]. Pascal es un sitio mucho más pequeño que los otros y está monitoreado por otra organización. Además, en su posición puede haber factor de turbulencia [13].

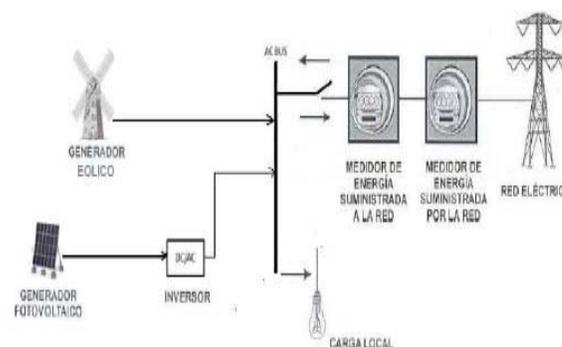
Los sitios de Troumassee presentan muchas vegetaciones y similar al Sugar Mill, están aproximadamente a 1 km tierra adentro. Los sitios de Troumassee no son expuestos a la dirección de viento principal como el sitio de Sugar Mill [13].

### 3. Discusión y Resultados

#### 3.1 Configuración del parque eólico conectado a la red

Un diagrama de bloque del parque híbrido propuesto es mostrado en la figura 5. El alcance del proyecto se basa en ciertas hipótesis:

- 1) para el propósito del estudio, la red energética puede absorber el 100 % de la energía del parque híbrido en cualquier tiempo dado.
- 2) se asume que el sistema está conectado a la red energética todo el tiempo.



### 3.2 Escenarios de la energía inyectada a la red

En esta sección se hacen cálculos simples basados en resultados ya obtenidos en losepígrafes anteriores de las varias combinaciones de la estimación de energía inyectada a la red. Las combinaciones o los escenarios analizados son:

- a) energía solar-FV solamente inyectada a la red
- b) energía eólica solamente inyectada a la red
- c) energía de la instalación combinada (eólica y solar FV) inyectada a la red

La energía solar-FV solamente inyectada a la red según cálculos realizados es 389 108.34 kWh/año = **389.11 MWh/año**

La energía eólica solamente inyectada a la red según cálculos realizados es 34.689.953 kWh/año = **34 689.95 MWh/año**

La energía de la instalación combinada (eólica y solar FV) inyectada a la red será la suma de los escenarios (a) y (b). 389.108,34 kWh/año + 34.689.953 kWh/año = **35 079 061.34 kWh/año**

### 3.3 Microsting

#### Parque Solar-FV

Calculado ya el número de módulos a instalar ( $252 \times 11 = 2772$ ) por bloque o inversor y la distancia mínima entre filas de paneles (2.10 m), se procederá al cálculo del espacio necesario para la instalación del parque.

Para calcular la longitud, no hay más que multiplicar el número de paneles en serie ( $NS=11$ ) por la longitud de los módulos y sumarle el producto de la distancia entre módulos ( $dm$ ) y cantidad de distancias. A este resultado se le suma la distancia hasta la caseta del inversor ( $d-c$ ) y la anchura de la misma ( $A-c$ ).

$$\begin{aligned} L &= NS * (dm + Lm) + d-c + A-c \quad (9) \\ L &= 11 * (2,10 + 0,801) + 5 + 3.53 = 41,91 \text{ m} \approx \mathbf{42m} \end{aligned} \quad (6)$$

Para la anchura del parque simplemente se multiplicará el número de módulos en paralelo ( $NP$ ) por su anchura ( $am$ ) y se sumará un extra de 10 m (5 a cada lado) para evitar posibles sombras.

$$\begin{aligned} A &= (NP * am) + 10 \quad (9.1) \\ A &= (252 * 0,040) + 10 = 20,08 \text{ m} \approx \mathbf{20m} \end{aligned} \quad (7)$$

La superficie del primer bloque del parque será su anchura por su longitud:

$$S = L * A = 41,91 * 20,08 \approx \mathbf{842 \text{ m}^2} \quad (8)$$

Su perímetro el doble de la suma de la anchura y la longitud:

$$P = 2 * (L + A) = 2 * (41,91 + 20,08) = \mathbf{124m} \quad (9)$$

La superficie mínima total del parque será el número de módulos en paralelo (NP) por la anchura (am) del primer bloque multiplicado por seis. Este valor se suma al producto del espacio entre cada bloque y sus extremos. El resultado se multiplica por la longitud:

$$[(252 * 0.40) * 6 + (5 * 7)] * 41,91 \approx 26.814 \text{ m}^2 \text{ ó } 6,6 \text{ acres} \quad (10)$$

### Parque Eólico

Para determinar el área de terreno requerido, hay que analizar la disposición de las turbinas eólicas basadas en criterios de diseño.

Los criterios de optimización utilizados en la determinación de la posición de los aerogeneradores son:

n Situación de las máquinas en alineaciones perpendiculares a las direcciones de mayor contenido energético y dentro de las zonas de más potencial eólico del emplazamiento (que se corresponden con las de mayor cota).

n Efecto Estela: Factor por interferencias de obstáculos u otros aerogeneradores. Este factor tiene en cuenta las pérdidas de energía del aerogenerador por la presencia de estelas o interferencias de otros aerogeneradores u obstáculos. En los parques eólicos se recomienda que la distancia entre aerogeneradores sea de 7 a 10 veces el diámetro del rotor en la dirección del viento dominante y de 2 a 5 veces dicho diámetro en la dirección perpendicular al viento dominante.

n Distancia mínima entre máquinas pertenecientes a una misma alineación de aproximadamente 2 veces el diámetro y más de 10 veces el diámetro entre alineaciones de aerogeneradores, aunque en el diseño del parque eólico solo hay una.

De esta forma se llega a un compromiso entre pérdidas de energía por efecto Estela y el número de máquinas a ubicar en las zonas de mayor recurso eólico.

El rendimiento de un parque eólico está fuertemente ligado a la disposición de sus aerogeneradores sobre el terreno, ya que las diferencias en cuanto a velocidad de viento media, las pérdidas por efecto Estela y las turbulencias pueden variar mucho dentro del propio emplazamiento. Por consiguiente, el micrositing o disposición de los aerogeneradores sobre los terrenos del parque eólico es esencial y se debe optimizar para obtener el máximo rendimiento y garantizar el cumplimiento de los parámetros de diseño de la máquina, especialmente las turbulencias admisibles.

Para calcular la superficie total del parque, se hace referencia a un diagrama que muestra la configuración o disposición de las turbinas con sus varias dimensiones.

Solo hace falta el diámetro del rotor del aerogenerador para realizar el cálculo. El aerogenerador Gamesa G80.20 tiene un diámetro de 80 m.

Se asume que la distancia entre turbinas es 10 veces el diámetro en la dirección del viento dominante y 5 veces el diámetro en la dirección perpendicular al viento dominante.

$$A1 + A2 = 665.600\text{m}^2 + 192.000\text{m}^2 = 857.600 \text{ m}^2 \text{ (9.5) } \text{ ó } 212 \text{ acres} \quad (11)$$

### 3.4 Análisis con el software Homer

HOMER: es el significado en inglés de “Modelo de optimización para sistemas híbridos eléctricos con base en energías renovables”, (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) desarrollado por NREL (*National Renewable Energies Laboratory*, Estados Unidos) [16]. HOMER es un programa de simulación que evalúa la generación eléctrica y térmica en relación con los datos climáticos de una región, y evalúa la correspondencia entre demanda y suministro. Los resultados pueden ser en base a horas, meses o años.

La característica principal de HOMER: es una herramienta útil para determinar el menor costo de la energía generada en las comunidades remotas (\$/KWh). Esto se realiza mediante simulaciones de cada hora de funcionamiento de miles de sistemas potenciales, analizando los costos de vida útil. También realiza análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de un cambio en cualquiera de los parámetros de entrada y proporciona resultados anuales, de cada hora, en forma de tablas y gráficas[17]. El objetivo principal de esta sección es realizar la simulación del sistema para analizar y comprobar la cantidad de energía que cada fuente alternativa produce al momento de entregarla a la red energética nacional.

### 3.5 Análisis eólico con Homer

Para la generación de electricidad del sistema, lo primero que se debe hacer es configurar el sistema dentro de HOMER. La configuración está compuesta por una turbina eólica (aerogenerador) que imita la turbina seleccionada (GAMESA G80-2.0) para este trabajo conectado a una red electroenergética que también imita la red nacional (LUCELEC).

Se debe incluir en el modelo el recurso eólico, mediante la carga de la velocidad media de viento (permite la carga de medias mensuales). Esta información es cruzada mediante un algoritmo con la curva de potencia del aerogenerador para obtener datos estadísticos de la generación eléctrica a lo largo del año.

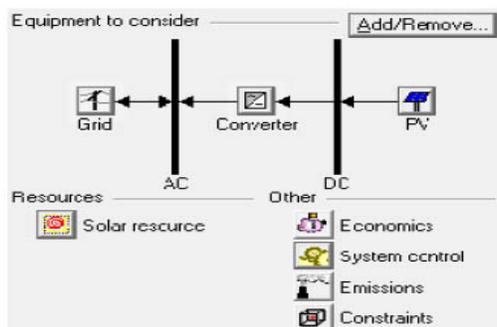


Figura 6:- Integración del sistema eólico con HOMER

Después de la configuración, se realiza la simulación del software para calcular la producción de energía esperada para un ciclo de vida de 20 años del aerogenerador.

System Architecture: 76,000 kW Grid  
3,000 kW PV  
3,000 kW Inverter

Production	kWh/yr	%
PV array	342,055	100
Grid purchases	0	0
Total	342,055	100

Figura 7:- Resultados de la simulación del sistema eólico con HOMER

La simulación del sistema eólico muestra la producción bruta de 50.380.736 kWh/año calculada con el HOMER, esperada para un ciclo de vida de 20 años de los aerogeneradores. Anteriormente, se había calculado una producción bruta de 56.904.693 kWh/año. Se observa que los resultados obtenidos con el programa son muy aproximados a los obtenidos mediante el cálculo hecho.

### 3.6 Análisis solar con Homer

El análisis es el mismo que el del eólico. Esta vez, en lugar de la turbina eólica, la configuración está compuesta por un panel fotovoltaico y un inversor que cambia la corriente directa del panel a la corriente alterna del lado de la red. Después de añadir los datos del recurso solar del sitio en el software, se realiza la simulación para calcular la producción de energía esperada.

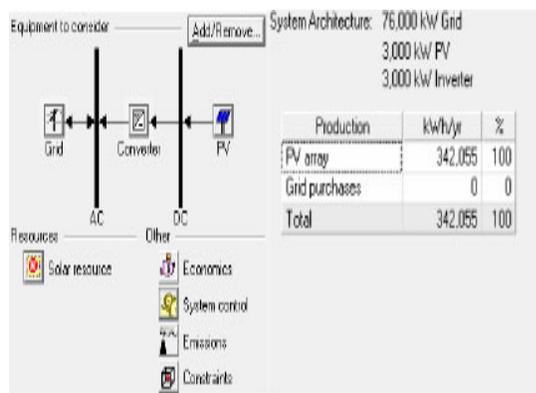


Figura 8.- Integración del sistema fotovoltaico

System Architecture: 76,000 kW Grid  
3,000 kW PV  
3,000 kW Inverter

Production	kWh/yr	%
PV array	342,055	100
Grid purchases	0	0
Total	342,055	100

Figura 9:- Resultados de la simulación del con HOMER sistema solar fotovoltaico con HOMER

La simulación del sistema solar fotovoltaico muestra la producción de 342.055 kWh/año calculada con el HOMER mientras que anteriormente, se había calculado una producción de 389.108,34 kWh/año. Se observa que los resultados obtenidos con el programa son muy aproximados a los obtenidos mediante el cálculo hecho.

La inversión a realizar para la instalar un parque eólico se ve especialmente afectada por el propio costo de los aerogeneradores, por el costo de la línea y por el equipamiento eléctrico necesario para la interconexión. Este dato constituye frecuentemente una causa más de incertidumbre que afecta a la viabilidad económica del proyecto.

Los costos de conexión, las tasas cobradas por la administración local y los costos de terrenos son, en general, de difícil cuantificación, ya que existe poca información acerca de estos. No obstante, se detecta un aumento progresivo en los últimos años.

Análisis de la inversión CAPEX (“*Capital Expenditure*”) para la **instalación eólica**

***Inversión Total*** **\$70 777 207.12**

Análisis de la inversión CAPEX para la **instalación fotovoltaica**

***Inversión Total*** **\$44 112 010.85**

***La inversión o costo total del proyecto es \$EC \$114 889 217.97 y tiene un vida de 25 años.***

### 3.7 Análisis de la rentabilidad

La rentabilidad de proyecto se estudia en base a la determinación del valor actual neto (VAN), tasa interna de rentabilidad (TIR) y Payback, conceptos ampliamente aceptados en la valoración de inversiones. Se definen entonces algunos conceptos:

**Valor Actual Neto (VAN):** en una inversión se calcula sumando todos los *cashflows* anuales actualizados originados por la inversión. Para actualizar los *cashflows* es preciso fijar una tasa de descuento  $k$ , que representa la tasa mínima de la empresa que está dispuesta a invertir sus capitales, y que se suele fijar como la suma del costo de capital más una cierta cuota riesgo. Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Un VAN nulo significa que la rentabilidad del proyecto es igual a colocar los fondos invertidos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada.

**Tasa Interna de Rentabilidad (TIR):** es la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. Representa el tipo de interés compuesto que se percibe, durante la vida de la inversión, por la inmovilización del capital invertido, es decir, a que interés se remunera el capital inmovilizado. Se considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor.

**Payback o Plazo de recuperación:** es el número de años que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método selecciona aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, es decir, cuanto más corto sea el periodo de recuperación de la inversión mejor será el proyecto.

Para el parque híbrido de 15 MW con un capital invertido (CAPEX) de \$EC7.695/ kW, incluyendo terreno, se obtiene un TIR de 20 % considerado como bueno para la inversión en este tipo de proyectos.

<b>Indicadores</b>	<b>Resultados</b>
Payback	5 años
VAN	EC\$ 47 854 863.48
TIR	20 %
Costo Nivelado Energía	\$EC 0.34 / KWh

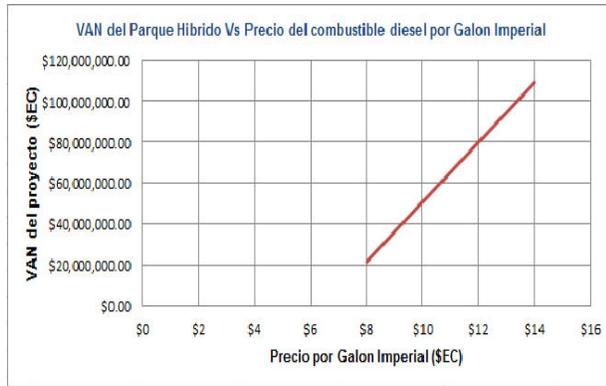


Figura 15. VAN del parque híbrido

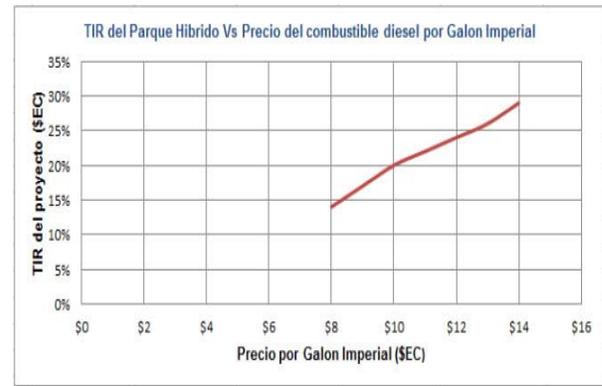


Figura 16. TIR del parque híbrido vs precio

Precio del combustible diesel por galón del combustible diesel por galón

## 5. Conclusiones

Hasta ahora el mejor sitio para establecer una instalación eólica en Santa Lucía es SugarMill según el estudio de los datos de viento junto con los criterios del presente trabajo. Se habla solo de la instalación eólica porque para la solar fotovoltaica pueden existir otros lugares del país donde se puede establecer esta instalación debido a su tamaño, lo que permite un buen recurso solar en cualquier zona del país.

Según los análisis y cálculos hechos se ha observado que Gamesa G80-2.0, Canadian solar CS5A-195M y Satcon Powergate Plus 500 kW son los mejores aerogeneradores, paneles solares e inversores para este proyecto respectivamente. Se puede concluir que el presente trabajo constará de 6 aerogeneradores, 16632 paneles solares y 6 inversores.

El parque híbrido diseñado proyectó una energía total de 35 079 06 MWh/año. 1.11 % de energía solar y el resto de energía eólica. La instalación fotovoltaica tendrá una productividad final o horas equivalentes del sol de 120 horas/año mientras que la instalación eólica tendría una producción de 3 379 horas equivalente.

Los resultados obtenidos de la simulación del sistema con el software HOMER fueron muy aproximados a los obtenidos mediante los cálculos realizados. A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que esta instalación resulta rentable. El **VAN** obtenido es de **\$SEC 47 854 863.48**, lo que quiere decir que con el valor del dinero actual la inversión generaría unos beneficios de **\$SEC 47 854 863.48** con un **TIR de 20%** y un **Payback simple de 5 años**.

## 6. Bibliografía

[1]. Ramos, J.J & Escalona, E.J. (2007). Propuesta metodológica para la ubicación y explotación de Aerogeneradores en Cuba. (Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Automático). Universidad de Oriente. Cuba.

[2]. Setiawan, A. A., Zhao, Y., Susanto-Lee, R. & Nayar, V.C. (Febrero 2009). Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas. Renewable Energy-Elsevier, vol. 34, p. 374-383.

- [3]. Maynard-Date, A & Farrell, C.N. (2011). Geothermal Activity and Development in East Caribbean Islands. Nevis.
- [4]. St. Lucia National Energy Policy. (Enero 2010).
- [5]. Moragues, J.A. & Rapallini, A.T. Aspectos ambientales de la energía eólica. República Argentina.
- [6]. Tecnología de la energía eólica. (Agosto 12, 2009). Recuperado de <http://www.conuee.gob.mx>
- [7]. [http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/protocolo\\_kyoto](http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/protocolo_kyoto)
- [8]. Links interesantes sobre energía eólica. Recuperado de [www.infoeolica.com](http://www.infoeolica.com)
- [9]. La creación del tiempo, Los elementos, Formación de los vientos. Recuperado de [www.repsol.com](http://www.repsol.com)
- [10]. Molinero Benitez, A. (2009). Proyecto de un parque eólico. Proyecto fin de carrera. Universidad Pontificia Comillas. España.
- [11]. Los tipos de vientos. Recuperado de [www.gecalsa.com](http://www.gecalsa.com)
- [12]. Luna Maldonado, R.E. (2008). Evaluación del Potencial Eólico y Propuesta Preliminar para la Instalación de un Parque Aerogenerador en el Área de la Chocolatera – Puntilla de Santa Elena. (Tesis de grado previo a la obtención del título Ingeniero Mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- [13]. Curso básico de operación de parques eólicos. (2005). Centro de formación en energía eólica de Ciego de Ávila, Cuba.
- [14]. Jargstorf, Benjamin. (Noviembre 2006). Wind data evaluation of sugar Mill, St. Lucia. Factor 4 Energy Projects GmbH. CREDP/GTZ (Caribbean Renewable Energy Development Project/ Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Recuperado de [www.credp.org](http://www.credp.org)
- [15]. Lysen, E.H. (1982). Introduction to Wind Energy. 2ª Edición. Amersfoot (Países Bajos): SWD (Steering Committee Wind Energy Developing Countries).
- [16]. Máster Internacional en Energías Renovables. Curso 5. Módulo 3: Energía Eólica, Energía minieólica. Instituto Internacional de Formación Ambiental (IIFA). España
- [17]. Adams, W. G. & Day, R. E. Proc. Royal Soc. Volumen A2. p.113 y 1877.

 **renovable.cu:**

**PRÓXIMA EDICIÓN DEDICADA A ACUMULACIÓN DE ENERGÍA**

**Cualquier sugerencia o comentario escribir a:**  
**[renovablecu@cubaenergia.cu](mailto:renovablecu@cubaenergia.cu)**

**Inicio**