

## Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética

MORALES-IBARRA, Rodolfo\*†, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan.

Recibido Octubre 20, 2016; Aceptado Noviembre 16, 2016

### Resumen

Enmarcados en las propuestas científico-tecnológicas así como el paso que nuestro país da hacia el futuro con la Reforma Energética y en específico en la Ley de Transición Energética, a través de las Competencias Académicas entregadas a los estudiantes de nuestra facultad en el curso de Ambiente y Sustentabilidad, en el presente trabajo se propone un proyecto integrador de Sistema Híbrido Eólico-Solar apropiado para estudiantes de la disciplina de ingeniería que en principio cuenta con un carácter de desarrollo tecnológico-energético. Un sistema híbrido es un sistema basado en este caso en dos subsistemas de diferente naturaleza eólico y solar. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción y/o confiabilidad optimizando al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de confiabilidad. El diseño del Sistema Híbrido Eólico-Solar y su sistema de caracterización ha sido tal que genere en el estudiante las competencias no solo de comprensión de dichos sistemas, sino también la de fabricación y construcción de los subsistemas Eólico, Solar, de Control y de Caracterización.

**Sistema Híbrido, Energías Renovables, Energía Solar, Energía Eólica, Ingeniería Energética**

### Abstract

Taking into account the latest advances in renewable energies and the important steps that our country is taking on the Energetic Reform and namely in the Energetic Transition Bill, in the present work, an integrating academic project deployed for the development of scientific and technological competencies in engineering students is presented as a part of the academic course of Environment and Sustainability which consists of an experimental wind-solar hybrid system constructed by the students. This particular hybrid system is based on wind turbine power and solar photovoltaic panels. The design and deployment of the hybrid system is based on different configurations while monitoring the efficiency and reliability of the output; the best configuration is observed when the cost effective efficiency is reached at the same level of reliability. The students develop through this experimental project the competencies of deep comprehension of, not only the importance of renewable energies but also construction, design, control and monitoring of the hybrid wind power and photovoltaics subsystems.

**Hybrid System, Renewable Energy, Solar Energy, Wind Energy, Energy Engineering**

**Citación:** MORALES-IBARRA, Rodolfo, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan. Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 8-15

\* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: rodolfo.moralesbr@uanl.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La gran demanda de energía que a nivel global es requerida y cuya principal fuente de alimentación es el carbono en sus diversas formas representa la causa principal de emisiones de gases tipo invernadero de carácter antropogénico, causantes del cambio climático por calentamiento global.

México participa activamente en los acuerdos internacionales contra el cambio climático; México ha ratificado el Protocolo de Kyoto y participa de manera inclusiva en las actividades de la Agenda 21. Se ha decretado la Ley General de Cambio Climático en la cual se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; así mismo la Ley de transición energética establece las bases para un cambio hacia las energías renovables. En acciones de mitigación México se ha comprometido a reducir las emisiones de carbono negro en un 51% hacia el 2030; y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 22% al 2030 según lo acordado en la COP 21 y el Acuerdo de París.

Por encima de todas las áreas de oportunidad de mejora en México, identificamos una en particular que en nuestra opinión podría ser la piedra angular sobre la que se sustente el cambio positivo respecto a los impactos antropogénicos, a saber: la educación medioambiental así como su divulgación y difusión.

Es importante entender y comunicar que al día de hoy, la humanidad cuenta ya con las tecnologías necesarias para empezar a resolver el cambio climático debido a las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.** Soluciones tecnológicas disponibles; a) Energía Eólica; b) Energía Fotovoltaica.

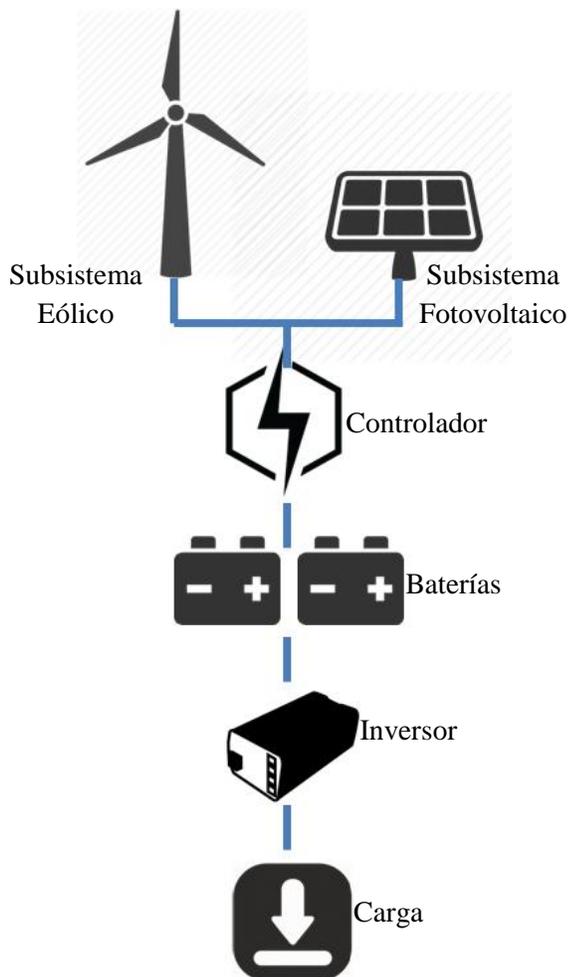
En la Fig. 1. a) se muestra la tecnología de generación de energía eléctrica por medio de energía eólica. La capacidad actual está creciendo un 30% cada año lo que nos lleva a suponer que esta es una de las mejores opciones para rápidamente superar un impacto positivo de más de 1GtC/año. En la Fig. 1 b) se muestra la opción tecnológica de energía fotovoltaica, la cual, al igual que la energía eólica, se estima que se encuentra en crecimiento de más de 30% por año.

A través de las Competencias Académicas entregadas a los estudiantes de nuestra facultad en el curso de Ambiente y Sustentabilidad, en el presente trabajo se propone un proyecto integrador de Sistema Híbrido Eólico-Solar apropiado para estudiantes de la disciplina de ingeniería que en principio cuenta con un carácter de desarrollo tecnológico-energético.

El diseño del Sistema Híbrido Eólico-Solar y su sistema de monitoreo ha sido tal que genere en el estudiante las competencias no solo de comprensión de dichos sistemas, sino también la de fabricación y construcción de los subsistemas Eólico, Solar y de Control.

### Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental

Un sistema híbrido es un sistema basado en este caso en dos subsistemas de diferente naturaleza eólico y solar.



**Figura 2** Diagrama Esquemático del Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental.

En la Fig. 2. Se muestra el diagrama esquemático del sistema híbrido eólico-solar experimental. La propuesta aquí descrita tiene como fin el presentar mediante la unidad académica de Ambiente y Sustentabilidad el reto de experimentar en sistemas de energías alternativas bajo la implementación de un sistema híbrido eólico-solar.

Los sistemas autónomos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

**Subsistema Eólico** - La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. La Tabla 1 muestra las especificaciones eléctricas del subsistema eólico.

**Subsistema Solar** - Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas.

La Tabla 2 muestran las especificaciones eléctricas del subsistema solar.

Specifications	
Rated Power	400w
Nominal Voltage	DC12-24V
Service Voltage	DC12-24V
Cut-in Wind Speed	2.5m/s
Rated Wind Speed	10.5m/s
Maximum wind speed	35m/s
Rated Rotate Speed	800r/min
Battery Capacity	200AH-400AH
Output Voltage(AC)	110-220V
Wind leaf material	Fibre reinforced composite
Rotor diameter	1.2M
Tower diameter	Suggest more than 80 mm

**Tabla 1** Especificaciones eléctricas del subsistema eólico.

**Controlador** - El controlador es un dispositivo que sumará las energías de los subsistemas eólico y solar para la correcta alimentación de la batería, combinando así las características de voltaje, corriente y potencia de ambos subsistemas.

**Batería** - La batería es básicamente el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica de corriente directa proveniente directamente del controlador del sistema híbrido eólico-solar. La batería alimenta al inversor.

**Inversor** - El inversor es un dispositivo de transformación de energía eléctrica de modo de corriente directa a corriente alterna.

En el proceso de transformación de energía, se ven también optimizados los niveles de corriente lo que proporciona una cantidad de energía óptima para los sistemas de consumo eléctrico.

Specifications	
Rated power	160w
Voc	22.41V
Vop	17.9V
Short circuit current (Isc)	9.87A
Working current (Iop)	8.89A
Output Tolerance	±3%
Temperate coefficient of Isc	(010+/- 0.01 )%/ °C
Temperate coefficient of Voc	- (0.38 +/-0.01 )%/ °C
Temperate coefficient of power Voc	-0.47%/°C
Temperature range	-40°Cto +80°C
SLA Battery Voltage	12V
Dimensions (L x W x H)mm	665*1450*35mm(26.3*57.3*1.38 in)

**Tabla 2** Especificaciones eléctricas del subsistema solar.

### Implementación del Diseño y Armado del Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental.

**Subsistema Eólico** - El diseño y armado del subsistema eólico se basa en dos partes: 1 - La fabricación de aspas del generador en materiales compuestos por el proceso de moldeo al vacío y/o moldeo manual; 2 - El reciclaje de componentes eléctricos, específicamente, motores eléctricos, dínamos y/o alternadores eléctricos que presenten las características de factibilidad de activación por energía eólica.

Fabricación de Aspas del Generador - El proceso de manufactura comienza por el recorte de preformas de fibra de vidrio que servirán como refuerzo en el material compuesto para luego, moldear bajo vacío, inyectando la resina poliéster y/o viniléster y su posterior desmoldeo. La Fig. 3. muestra el proceso de manufactura de aspas de generador eólico.



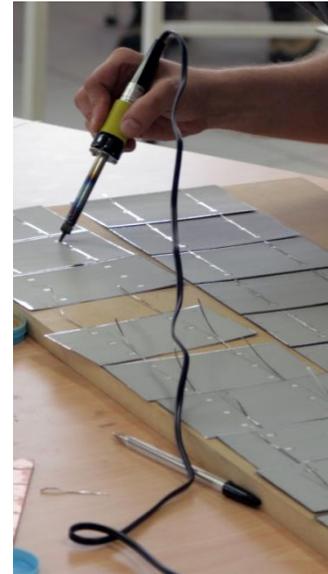
**Figura 3** Proceso de Manufactura de Aspas de Generador Eólico.

Ensamblado del Generador Eólico - El armado del generador se lleva a cabo de manera simple y mecánica, ajustando las aspas fabricadas en compuestos al componente dinámico del generador. La Fig. 4. Muestra el ensamble y puesta en marcha del generador eólico.



**Figura 4** Ensamble y puesta en marcha del Generador Eólico.

Subsistema Solar - El armado del panel solar se hace a partir de celdas solares realizando los trabajos de soldadura tal como se muestra en la Fig. 5. Proceso de soldadura de las celdas solares.



**Figura 5** Ensamble y soldadura de Celdas Solares.

Posterior a la soldadura de celdas se lleva a cabo la presentación y sellado del panel tal como se muestra en la Fig. 6. Sellado de Celdas Solares.



**Figura 6** Sellado de Celdas Solares

Por ultimo, se revisan las eficiencias de los subsistemas y la integración del Sistema Híbrido Experimental como se muestra en la Fig. 7. Revisión de eficiencias y armado del sistema híbrido.



**Figura 7** Revisión de eficiencias y armado del sistema híbrido.

La implementación general consiste en la cátedra de la técnica de dimensionamiento, diseño y armado de los subsistemas eólico y solar para su posterior integración. Con ello, se entregan al alumno las competencias de diagnóstico y diseño de sistemas de energías renovables.

## Resultados

El presente proyecto es utilizado como trabajo final en el curso Ambiente y Sustentabilidad de la formación de Ingeniería en la FIME-UANL. Dicho proyecto ha sido ya presentado por al menos 390 estudiantes en el semestre Enero-Junio 2016 en 11 Grupos con una distribución tal como se muestra en la Tabla 3. Distribución de Grupos y Estudiantes Participantes del Proyecto.

Es importante mencionar que el proyecto aquí desplegado, es un esfuerzo personal realizado por el equipo de trabajo que presenta este manuscrito por lo que no todos los alumnos de la FIME-UANL reciben la formación de competencias aquí descritas; más aún, el curso de Ambiente y Sustentabilidad es parte de la Academia de Formación General Universitaria que está implementada en todas las facultades de la universidad en los estudios de nivel superior; se espera continuar con el esfuerzo y lograr con un poco de tiempo, el permear este y otros proyectos en toda la universidad con la intención de tener un mayor impacto en la formación de profesionistas con la educación medioambiental adecuada que los problemas de cambio climático y calentamiento global exigen. Por lo pronto, ya en el semestre en curso a la fecha, Agosto-Diciembre 2016 ya está en implementación el mencionado proyecto con un número mayor de estudiantes que en el semestre anterior.

Grupo	Estudiantes
034	8
002	40
005	38
017	44
026	42
031	42
032	47
034	45
037	44
033	4
033	36

**Tabla 3** Distribución de Grupos y Estudiantes Participantes del Proyecto.

## Conclusiones

Las energías renovables mostradas en el presente proyecto son soluciones tecnológicas que se encuentran en despliegue y utilización industrial en este momento, la proliferación de dichas tecnologías comienza por la buena educación, formación de competencias y la divulgación de sus beneficios lo que observamos como un primer paso para su implementación a nivel nacional. El presente análisis no se enfoca en los costos de las implementaciones ni en la observación de la normatividad para la aplicación de energías renovables, sin embargo es posible inferir que no habrá una macroeconomía que perseguir ni ganancias o utilidades en las compañías sin los beneficios del medio ambiente que sustente la actividad humana; más allá, el desarrollo y la implementación de las actividades mencionadas puede traer consigo desarrollo y crecimiento de nuevas industrias y maneras de hacer negocios prósperos que traigan satisfacción a las generaciones actuales y futuras, particularmente para los estudiantes de ingeniería, la formación de estas competencias pone un particular énfasis en el hecho de que estas actividades serán de mucha utilidad en la industria futura. El problema del calentamiento global tiene solución, es el momento para que las generaciones presentes actúen en el sentido necesario para la solución del calentamiento global; la evidencia muestra que somos, la raza humana, en gran medida los causantes del mismo.

Tenemos claro que se requiere de la información proveniente de los estudios científicos, de la voluntad de los gobiernos, de la visión de los empresarios y emprendedores para la completa y correcta implementación de las tecnologías que servirán para dar el primer paso hacia una sociedad desarrollada de manera sustentable.

## Agradecimientos

Reconocemos el apoyo de la empresa ENSOLAR, quienes han proporcionado el apoyo técnico y práctico para el entrenamiento de armado de paneles solares.

## Referencias

Pacala, Socolow, Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies Science, 305, 2004.

Organización de las Naciones Unidas, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998,  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Organización de las Naciones Unidas, Agenda 21, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,  
<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=52>

Organización de las Naciones Unidas, Acuerdo de Paris COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 1998  
[https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_english\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf)

Aspectos Institucionales del Desarrollo Sostenible en México  
<http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/mexico/inst.htm>

Ley General de Cambio Climático, Diario Oficial de la Federación el 6 de Junio del 2012,  
<http://www.inecc.gob.mx/lgcc>

Ley de Transición Energética, Diario Oficial de la Federación el 24 de Diciembre del 2015,  
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

United Nations, Agenda 21, Earth Summit (UN Conference on Environment and Development) 1992, Published 1993.

<http://wind-energy-facts.com/wind-farm-facts/>  
<http://valhallamovement.com/link/solar-farm-approved-at-rejected-fracking-site/>