



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR

***REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA***

41



Influencia de los parámetros ambientales agresivos sobre el parque eólico de Gibara.....	1
Estudio del viento en el entorno de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Las Villas para la instalación de pequeñas turbinas eólicas.....	14
Sistema integral de operación para generación eólica SioGE.....	23
Los huracanes y los parques eólicos.....	31
Eficiencia energética y energía renovable. Potencialidades de las redes de energía del Ministerio de Educación Superior de Cuba.....	36

Influencia de los parámetros ambientales agresivos sobre el parque eólico de Gibara

Influence of aggressive environmental parameters on Gibara wind farm

*Por Ing. José Luis Pifferrer Martínez**

** Empresa Eléctrica Holguín, Cuba.*

e-mail: pifferrer@elechol.une.cu

Resumen

Desde el 2005 comenzaron los estudios de los vientos en la costa norte del municipio de Gibara, con el objetivo de realizar inversiones en fuentes renovables de energía, en específico en el campo de la eólica, los que arrojaron resultados muy favorables. A partir del 2008 se construyeron en dicho municipio dos parques eólicos, ambos relativamente cerca de la costa, por lo que la agresividad de la corrosión influyó negativamente en el funcionamiento de los aerogeneradores. Fue necesario realizar un estudio profundo de la influencia de este fenómeno para determinar los factores más representativos de su efecto contaminador, y poder tomar las medidas necesarias para minimizarlo. La solución de estas interrogantes es el objetivo del presente trabajo, en el que se realiza una recolección de datos y mediciones que permite hacer las valoraciones correspondientes para las futuras inversiones en la zona costera, y el tratamiento adecuado en el mantenimiento actual a las tecnologías.

Palabras clave: Energía eólica, impacto ambiental

Abstract

Since 2005, wind assessment began on the north coast of Gibara municipality aimed at investing in renewable energy sources, specifically wind, which returned very favorable results. As of 2008, two wind farms were built in the municipality, both relatively close to the shoreline, so the aggressiveness of the corrosion negatively influenced the operation of the wind turbines. It was necessary to carry out an in-depth study of the influence of this phenomenon to determine the most representative factors of its contaminating effect, in order to take the necessary measures to minimize it. The solution of these questions is the objective of the present work, in which a data and measurements collection is made that, allows making the corresponding valuations for the future investments in the coastal zone, and the adequate treatment in the current maintenance to the technologies.

Keywords: Wind energy, environmental impact

Introducción

En la actualidad, la situación energética del mundo ha colocado a numerosas naciones en posiciones al borde del colapso, y para enfrentarlas los gobiernos exigen de los hombres de ciencias las soluciones técnicas más factibles, y económicamente viables, según las condiciones particulares de cada país. Nuestro país no es ajeno a esos eventos, y ha instrumentado las disposiciones necesarias con el fin de lograr la soberanía energética, aprovechando las energías renovables al máximo de nuestras posibilidades.

Al considerarlo como recurso energético, el viento tiene sus características específicas: es una fuente con sustanciales variaciones, a pequeña y gran escala de tiempo, y espaciales, tanto en superficie como en altura, contando además con una componente aleatoria que afecta en gran parte a su variación total. El estudio del comportamiento del viento en cada lugar resulta de suma importancia para la obtención de datos que permitan una selección adecuada de la turbina a utilizar en dicho sitio, al punto de que es determinante para garantizar los mejores resultados económicos del proyecto dado.

En el 2005, con la proclamación de la Revolución Energética, se comenzaron a ejecutar por el Estado diversas inversiones, y entre ellas se potenció el crecimiento de las fuentes de energía renovables. En nuestro territorio ello se materializó con la construcción de dos parques eólicos, debido al potencial de la zona costera, para incrementar la producción de energía y asumir la demanda eléctrica del municipio. Sin embargo, esas inversiones se realizaron sin tener en cuenta el grado de agresividad corrosiva en la región.

Por su posición geográfica, Cuba está situada dentro del cinturón de los alisios del nordeste, entre los $19^{\circ}49'-23^{\circ}18'$ de latitud Norte, y los $74^{\circ}07'-84^{\circ}58'$ de longitud Oeste; y por este motivo recibe la influencia de fenómenos procedentes del trópico, y de otros de origen extra tropical. El clima del país se ha descrito como tropical estacionalmente húmedo, con influencia marina y rasgos semicontinentales. Todo esto hace que la circulación atmosférica sobre Cuba tenga un carácter complejo y heterogéneo, determinada por su posición geográfica y carácter insular, incluyendo su forma y orientación con respecto al flujo sinóptico predominante, haciéndose notar los alisios más en el oriente que en el occidente de la Isla. Predominan dos periodos climatológicos: lluvioso (mayo-octubre) y poco lluvioso (noviembre-abril), en los que se manifiestan unas ocho situaciones sinópticas que demuestran la sustancial diferencia en los procesos circulatorios de los vientos sobre el país, entre las regiones occidental y oriental de la Isla.

Por otra parte, la circulación local de brisas se produce en áreas costeras, originada por contrastes de temperatura y presión entre las superficies del mar y la tierra. El ciclo diurno recibe el nombre de brisa marina, y el nocturno terral o brisa terrestre. El fenómeno de la brisa se definió, para condiciones no continentales y bajas latitudes, como uno de las componentes del viento real medido en los instrumentos, que en ausencia total de cualquier otro flujo perturbador surge perpendicular a las líneas costeras. La altura del flujo de retorno generalmente oscila entre 0,5 y 4 km, en dependencia de las condiciones de estabilidad de la atmósfera. La brisa marina, luego de formarse en una estrecha franja del litoral costero, puede alcanzar sobre tierra distancias del orden de 20 a 40 km.

Además, se ha determinado que la ocurrencia de vientos máximos en Cuba está asociada a la presencia sobre nuestro territorio de determinados tipos de situaciones sinópticas: los organismos ciclónicos tropicales, bajas extra tropicales, sistemas frontales, altas presiones continentales y oceánicas, y las típicas tormentas locales del verano. Los ciclones tropicales que cruzan sobre nuestro territorio o se desplazan por los mares adyacentes, están entre los sistemas que generan los máximos más notables de la velocidad del viento.

Por tanto, al seleccionar la turbina eólica a instalar, se debe considerar como aspecto fundamental, la posición dentro del territorio nacional, teniendo en cuenta, además, la distancia de la costa, la existencia de sistemas montañosos, el aprovechamiento de bajas velocidades del viento, y que soporte el mayor valor de velocidad de viento (racha) instantánea, entre otros.

Por otra parte, la temperatura media de nuestra región es relativamente alta, lo que trae consigo una elevada humedad relativa, condiciones obligadas a tener en cuenta al seleccionar cualquier tecnología a instalar. Aunque normalmente los aerogeneradores que se construyen en la actualidad están diseñados para trabajar entre los -20°C y los $+40^{\circ}\text{C}$, la mayoría de los constructores solo hacen pequeñas variaciones en el diseño para que la máquina trabaje en el mar, o sea, en parques eólicos marinos. Este aspecto resulta de interés debido al alto grado de corrosión que afecta al Sistema Electroenergético Nacional, ya que la forma de Isla, combinada con la alta temperatura promedio y la constancia de los vientos, provocan un efecto de aerosol de agua marina sobre todo elemento en tierra, mayormente en las zonas costeras.

Este aspecto tiene mayor peso en el diseño de las inversiones de los parques eólicos, ya que se ha determinado que la corrosión en las partes metálicas, los componentes eléctricos y electrónicos, oscila entre 1,5 y 1,8

veces mayor en oriente que en occidente, siendo las regiones de Holguín y Guantánamo las de mayor incidencia (40%).

Las zonas costeras hasta 1 km de distancia al mar, sin el efecto de apantallamiento, presentan un nivel de agresividad corrosiva alta y extrema de manera constante en el tiempo. Se reporta que la costa norte presenta un nivel de agresividad mayor que la sur. Esto se debe a que la dirección predominante del viento en Cuba es del noreste. A solicitud nuestra, se realizó un estudio para medir y comprobar el comportamiento de estas variables en la zona.

El Grupo de Protección de Materiales, perteneciente al Departamento de Investigación y Desarrollo de la Dirección de Química, del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), llevó a cabo la realización del Servicio Científico Técnico: «Estudio y determinación de la agresividad corrosiva en la zona de desarrollo eólico de Gibara, Holguín».

Objetivo general del proyecto

- Realizar un estudio basado en la influencia de la agresividad corrosiva en una zona de desarrollo eólico, con vistas a incrementar el tiempo de vida útil de los futuros parques que se construirán en las costas cubanas, y en otras zonas de interés en el país.

Objetivos específicos del proyecto

- Realizar un estudio de diagnóstico en la infraestructura del parque eólico de Gibara con el propósito de solucionar los problemas que existen actualmente debido a su deterioro, por influencia de la agresividad corrosiva.
- Mostrar el comportamiento en el tiempo de las velocidades de deposición de iones cloruro, compuestos de azufre, material particulado, concentración de NO₂ y velocidad de corrosión en el parque, y su variación con la distancia al mar.
- Determinar los niveles de agresividad y los tipos de atmósferas en la zona de estudio.
- Demostrar cuáles pudieran ser los factores ambientales con mayor influencia en el deterioro de los componentes de un parque eólico, a partir del fenómeno de la corrosión.

Los factores que influyen en la corrosión atmosférica son:

- Humedad relativa.
- Temperatura.

- Impurezas de la atmósfera.
- Naturaleza del material metálico.
- Tipos de atmósferas.

Determinación de los niveles de agresividad en la zona de estudio

Lo que se recomienda es monitorear cada variable en el tiempo, como por ejemplo la velocidad de deposición de iones cloruro, compuestos de azufre, material particulado y concentración de NO_2 .

La confirmación de los niveles de agresividad debe realizarse a un año de exposición de las probetas. Ello sirve para comparar el pronóstico de los niveles de agresividad en diferentes estaciones del año, sobre todo entre el invierno y el verano, así como el comportamiento de la velocidad de corrosión también en el tiempo de exposición. La velocidad de corrosión se determina por los métodos convencionales basados en la diferencia de peso y espesor, en función del área en las probetas y su tiempo de exposición.

Desarrollo

Se comenzó valorando el trabajo anticorrosivo realizado en las partes exteriores de los seis aerogeneradores, y posteriormente en los interiores. Es oportuno señalar que los seis aerogeneradores presentaron daños por corrosión en ambas zonas. El factor fundamental que influyó en la aparición del fenómeno de la corrosión, fue el paso del huracán Ike. Para ello se tomó como referencia el informe de la segunda etapa del trabajo.

Valoración del trabajo realizado, en las partes exteriores de los aerogeneradores

El daño principal debido al fenómeno de la corrosión en las partes exteriores de los aerogeneradores, se detectó en las torres, sobre todo en las zonas más bajas. Las afectaciones ocurrieron debido a la fuerte abrasión provocada durante el paso del huracán.

Esta acción pudiera ocasionar, como bien se conoce, la pérdida del recubrimiento, pero además, crear irregularidades en los metales desnudos (sin recubrimientos), provocando un mayor efecto en el proceso corrosivo. La corrosión debido a la abrasión, es considerada como una corrosión con efecto mecánico. Este no es más que el contacto entre el material particulado y la superficie del metal, debido a la acción del viento. A medida que se incrementa el efecto de la abrasión, mayor pudiera ser la corrosión atmosférica, sobre todo si existe una humedad suficiente en la superficie

del metal más la acción de los contaminantes atmosféricos (cloruros, sulfatos, compuestos de azufre, nitratos, carbonatos, entre otros), es decir, la combinación de un mecanismo mecánico-electroquímico que acelera de manera considerable la corrosión atmosférica.

Durante el chequeo de los trabajos realizados se detectaron tres problemas:

El primero consistió en la selección no adecuada de la pintura empleada como recubrimiento y protección en las torres. La pintura seleccionada como primario anticorrosivo, es decir, para la primera capa, fue FSD-6206-TKROM. Este producto está compuesto por xileno, tolueno, metanol y por el secante a base de plomo; su coloración puede ser azul o roja, y en este caso fue roja.

Sin embargo, no es el más recomendado para proteger estructuras mediante pinturas, en zonas muy próximas al mar. En su lugar debió aplicarse un primario anticorrosivo rico en cinc (fosfato de cinc), el más recomendado en la protección a base de pinturas, para las estructuras que se encuentran en atmósferas costeras e industriales.

El segundo problema se debió también a la mala selección de la pintura como acabado final.

Se utilizó un esmalte sintético de brillo. En su lugar debió ser usarse un esmalte uretano del mismo color, que son los que más se tienden a usar en los acabados finales de protección a base de pinturas, así como también en zonas de alta y extrema agresividad corrosiva.

El tercer problema está relacionado con la no aplicación de una capa intermedia entre el primario y el acabado final. Esta capa es la que garantiza el efecto protector contra la corrosión, debido a que posee mayores espesores de película húmeda y seca.

No obstante, para la solución de dichos problemas se hace muy necesaria la aplicación precisamente del esmalte uretano como acabado final en las zonas rehabilitadas (Fig. 1).

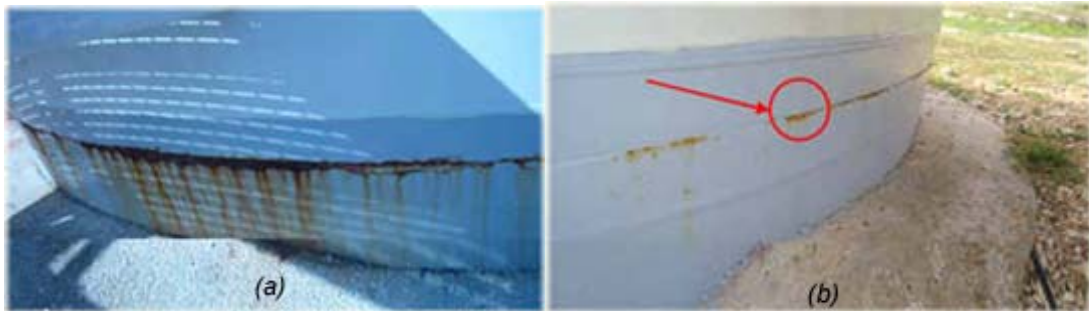
Este producto es compatible con el usado para la solución del segundo problema, procurándose que sea del mismo color de la torre.

Primeramente, se debe realizar un lavado manual con agua para la eliminar la grasa, el polvo y sobre todo las sales de iones cloruros depositadas en la superficie. Posteriormente, un secado al sol; es por eso que ese trabajo debe realizarse en buenas condiciones del tiempo. De esta manera se garantiza un mayor tiempo de durabilidad y vida útil de los aerogeneradores.



Fig. 1. Zonas rehabilitadas por corrosión en una de las torres.

La confirmación de la baja efectividad de este sistema de protección a base de pintura, se aprecia en las partes más bajas de las torres (Fig. 2b). Se observa, como existe el producto de corrosión, sobre todo en las partes muertas. De forma general, el daño por corrosión es mucho menor en comparación a como se encontraba hace un año (Fig. 2a).



*Fig. 2. Corrosión en la zona baja de las torres,
a) antes de la rehabilitación, b) después de la rehabilitación.*

En las estructuras, la corrosión se hace más intensa en las partes más bajas. Esto se debe a que las sales de iones cloruro presentan un efecto gravitatorio, es decir, se depositan en las partes más bajas, donde en presencia de la película de agua condensada en la superficie metálica, ocurre el efecto de la corrosión. Las sales de iones cloruro se encuentran en el aerosol marino a una concentración entre 5 y 10% del total de las partículas; dichas sales representan hasta 95% del total de la masa, es decir, son las que más pesan, y de ahí su efecto gravitatorio.

Valoración del trabajo realizado en las partes interiores de los aerogeneradores

La valoración de los trabajos realizados en las partes interiores donde también existían daños por corrosión se dividió en dos etapas: la primera, relacionada con los trabajos ejecutados en las uniones intermedias, y la segunda en las partes más bajas de los interiores de los aerogeneradores,

específicamente en las virolas que se apoyan en las bases de hormigón armado.

Con respecto a la primera etapa, se siguió de manera detallada el proceso de rehabilitación, y se aplicó el mismo sistema de pintura de las partes exteriores dañadas por corrosión. Aquí el sistema demostró una mejor efectividad (Figs. 3a y 3b), y la razón fundamental se debe a que el nivel de agresividad corrosiva en el interior pudiera ser mucho menor en comparación con los exteriores, sobre todo con el incremento de la altura.



Fig. 3. Efectividad del sistema de protección empleado en una de las uniones en el interior de las torres, a) antes de la rehabilitación, b) después de la rehabilitación.

Las partes más afectadas por corrosión en el interior de las torres se encuentran en las virolas que se apoyan en la bases de hormigón armado (Fig. 3a). El proceso de rehabilitación se llevó a cabo de manera exitosa. Se nota la diferencia entre una parte, con los daños por corrosión debido a la penetración del mar, y la otra después de un año de su rehabilitación (Fig. 3b). La rugosidad que se observa en las virolas de apoyo rehabilitadas, se debe al producto de corrosión que existió, el cual fue casi totalmente eliminado. Se hace muy necesario aplicar en estas partes una capa de pintura epóxica de mejor calidad.

Se puede presentar el riesgo de una futura penetración del mar y que el sistema de pintura aplicado, el cual fue descrito anteriormente, no resista la fuerte abrasión y la corrosión.

Los tipos de pintura epóxica para esto pudieran ser del mismo producto a emplear como capa de acabado final en zonas de elevada agresividad, el primario anticorrosivo rico en cinc, o la barrera epóxica, la cual se usa como capa intermedia en los sistemas de rehabilitación. La aplicación de ambos productos pudiera ser la solución más efectiva, teniendo en cuenta los tiempos de secado y el repinte en la capa primaria.

De igual forma, en las figuras 4 y 5 se puede observar el grado de agresividad de las muestras estudiadas en los diferentes sitios instalados, tanto en el exterior como en el interior de los aerogeneradores, destacándose en cada una de ellas las distancias de la costa donde fueron ubicadas, considerando los cuatro materiales metálicos estudiados: acero al carbono, aluminio, cobre y acero galvanizado (de izquierda a derecha en ese orden).

De acuerdo a esta observación visual, se advierte de forma clara que existe una mayor corrosión en las probetas metálicas para los cuatro materiales que se estudian, colocados en el sitio exterior de la torre 1, la más cercana al mar. En cada sitio exterior se colocaron tres probetas de cada material. Para este sitio solo queda una probeta de acero al carbono y las otras dos fueron fuertemente atacadas por la corrosión, provocando su deterioro de manera considerable. Se nota que para el sitio ubicado a una mayor distancia del mar (Laguna Blanca), las probetas de este material metálico prácticamente no perdieron su brillo metálico en las superficies (Fig. 4).



Torre 1. Exterior (50 m del mar).



Grupo electrógeno (200 m del mar).



Los Cocos (500 m del mar).



Los Altos (700 m del mar).



Laguna Blanca (1 360 m del mar).

Fig. 4. Observación visual de las probetas metálicas colocadas en los cinco sitios exteriores.



Torre 1. Interior

Fig. 5. Observación visual de las probetas metálicas colocadas en el interior de las torres.

Metodología del tratamiento para la solución del problema

- Enjuagar con agua potable a chorro la zona dañada, para eliminar el polvo y las partículas de sales de iones cloruro.
- Tratamiento superficial con cepillo de alambre, aplicado de forma transversal para eliminar el producto de corrosión, hasta ver a simple vista el acero base.
- Enjuagar para eliminar el polvo restante del tratamiento.
- Aplicación de la primera capa de pintura, primario anticorrosivo rico en cinc (fosfato de cinc).
- Después de un tiempo de secado de más de 12 horas de la primera capa, se aplica la segunda, la cual consiste en la barrera epóxica. Se debe garantizar que esta capa tenga un mayor espesor que la anterior.
- Por último, aplicar la capa de acabado final de esmalte uretano del mismo color, después de un tiempo de secado de más de 12 horas de la capa anteriormente aplicada.

Otro de los problemas presentes es la contaminación de las tarjetas eléctricas y electrónicas en el interior de los armarios de la torre, ya que en sus puertas existe un sistema de ventilación inclinada que permite el flujo de aire a través de la misma, el cual es necesario para su buen funcionamiento. No obstante, un detalle significativo fue la colocación de mallas con un fieltro de lana en el medio, que actúa como filtro de aire, siendo este uno de los métodos más prácticos para combatir la corrosión durante la operación del equipo. Con la aplicación de este sencillo método se pudo comprobar un mejor comportamiento de estos circuitos, frente a la elevada agresividad corrosiva como la presentada en nuestra tecnología (Fig. 6).



Fig. 6. Malla colocada para filtrar el aire que entra en el interior del aerogenerador.

La tabla 1 muestra los diferentes productos a aplicar para controlar la contaminación presente hoy en las torres de los aerogeneradores, en las que se debe mantener una correcta y adecuada superficie luego del tratamiento.

Tabla 1. Nomenclatura de los productos a utilizar para el tratamiento a las partes dañadas

Calidad	Color	Descripción
35250	19810	HEMPADUR EPOXY FILLER 35250
45880	40640	HEMPADUR MASTIC 45880
52140	10000	HEMPALIN ENAMEL 52140
08450	00000	HEMPEL'S THINNER 08450
08080	00000	HEMPEL'S THINNER 08080

Conclusiones

- El tratamiento superficial realizado en las áreas dañadas por el fenómeno de la corrosión en las partes exteriores e interiores, se realizó de forma adecuada; sin embargo, para condiciones exteriores no se aplicaron los productos idóneos destinados a aumentar la durabilidad y el tiempo de vida útil de los aerogeneradores.
- La calidad del aire en la zona de desarrollo eólico de Gibara pudiera considerarse como buena, de acuerdo al comportamiento de la concentración de NO₂ durante los primeros seis meses de estudio.
- La velocidad de deposición de iones cloruro y compuestos de azufre demostró que los sitios más agresivos en la zona de estudio pudieran ser la torre 1 al exterior y el Grupo Electrógeno, donde para ambos contaminantes atmosféricos su velocidad se incrementa en los meses invernales.
- El sitio interior colocado en la torre 6, pudiera presentar una mayor afectación debido a la corrosión, en comparación con el interior de la torre 1. Todo parece indicar que los trabajos de reparación, y la no colocación del filtro en la escotilla de la torre 6, influyeron directamente en dicho resultado.
- La observación visual permitió establecer los niveles de agresividad corrosiva durante los primeros meses de estudio en la zona de

desarrollo eólico de Gibara, en el orden siguiente: Torre 1 (exterior), Grupo Electrónico, Los Cocos, Los Altos, Laguna Blanca.

- La velocidad de deposición de los contaminantes atmosféricos, de conjunto con el tiempo de humectación, se correspondió con la observación visual de las probetas metálicas, de acuerdo con su estado superficial producto de la corrosión.

Recomendaciones

- Aplicar de la manera más rápida posible los sistemas de protección a base de pinturas, mediante los productos señalados en el presente informe, en las partes exteriores e interiores dañadas por la corrosión.
- Ejecutar las futuras inversiones de este tipo de tecnologías a una distancia prudencial de la costa, para minimizar en lo posible la afectación por la agresividad de la corrosión.

Bibliografía

CASTAÑO, J. G.; C. A. BOTERO Y S. PEÑARANDA (2006). «Corrosión atmosférica del zinc en ambientes exteriores e interiores», en *Revista de Metalurgia* 43 (2), marzo-abril, pp. 133-145, 2007, Madrid, España, 2006.

CORVO, F., et al. (1992). «Segunda variante de Mapa Regional de Agresividad Corrosiva de la atmósfera de Cuba. Proceedings». Primer Taller Internacional de Corrosión, CONACYT-CINVESTAV, Mérida, Yucatán, 23-28 de marzo, 1992.

DOMÍNGUEZ, J. A. (1987-a). «Introducción a la Corrosión y Protección de Metales. Capítulo 7. Corrosión con efectos mecánicos». La Habana: Facultad de Procesos Químicos y Alimentarios. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Empresa Nacional de Producción y Servicio de la Educación Superior, 1987.

DOMÍNGUEZ, J. A. (1987-b) «Introducción a la Corrosión y Protección de Metales. Capítulo 10. Estudio de los principales materiales de construcción». La Habana: Facultad de Procesos Químicos y Alimentarios, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, Empresa Nacional de Producción y Servicio de la Educación Superior, 1987.

FDS-6206-TKROM. Imprimación de Estructuras (colores sin Pb). Ficha de datos de seguridad.

GALVELE, G Y DUFFO G.S. (2003). «Degradación de Materiales II. Corrosión. Capítulo 11. Erosión corrosión cavitación». Buenos Aires: Instituto de Tecnología, UNSAM-CNEA, 2003.

MARTÍN YARELYS; SUSANA SCHLATTER, OSCAR LEDEA Y CARMEN PORTILLA. «Determinación de niveles de NO₂ en Ciudad de La Habana mediante captadores pasivos», en *Revista CENIC Ciencias Químicas*.

MARTÍN, YARELYS; FRANCISCO CORVO, ABEL CASTAÑEDA, CECILIA VALDÉS, EVA GONZÁLEZ, JULIA PÉREZ Y CARMEN PORTILLA (2007). «Influencia de diferentes factores ambientales en la corrosión de metales empleados en la construcción de equipos electro electrónicos en Cuba», en *Revista CENIC Ciencias Químicas*, vol. 38, no. 1, 2007, pp. 219-225, 2007.

MARTÍN YARELYS, FRANCISCO CORVO, ABEL CASTAÑEDA Y CECILIA VALDÉS (2006). «Influencia del clima tropical en el deterioro de los equipos electro-electrónicos en Cuba», en *Metánica*, 2006. ISSN 1607-6281.

———. «Resultados relacionados con el efecto del clima tropical cubano en la corrosión de equipos electro-electrónicos», en *IBEROMET*. ISBSN 1607-6281.

MEREIRA. G. R., J. I. PADARATZ, C. ALONSO Y C. ANDRADE (2003). *Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña*. Materiales de Construcción. Madrid: CSIC, Edición Especial, 271-272, 175-189, 2003.

MORCILLO M., M. ALMEIDA, F. FRAGATA Y ZEHBOUR PANSSIAN (2002). *Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica*. Parte II. Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Iberoamérica (Red Temática Patina, XV.D/CYTED). Capítulo: Fundamento sobre la protección anticorrosiva de metales en la atmósfera. Madrid: 2002.

Norma ISO 12944-5. *Pinturas y barnices. Protección contra la corrosión de estructuras de acero por sistemas protectores de pintura*. Parte 5. Sistemas protectores de pintura.

Norma ISO 12944-4. *Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores*. Parte 4. Tipos de superficie y de preparación de superficie.

Norma ISO-9223. *Corrosion of metal and alloys. Classification of aggressivity of the atmosphere*. 1992.

Norma ISO TC 156/WG4. *Corrosion of metal and alloys. Classification of corrosivity of indoor atmospheres. Determinations and estimation of indoor corrosivity*.

Proyecto de investigación en ejecución «Estudio de la agresividad ambiental en Ciudad de La Habana y su influencia en la corrosión del acero de refuerzo». Ejecutor: Grupo de Protección de Materiales. Dirección de Química, CNIC, 2006.

ROBERGE, PIERRE R. (1999). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: 1999. ISBN 0-07-076516-2.

Estudio del viento en el entorno de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Las Villas para la instalación de pequeñas turbinas eólicas

Study of the wind at the Faculty of Mechanical Engineering of the Central University of Las Villas for the installation of small wind turbines

Por Ing. Javier Enrique Cabeza Ferreira
y Dr. Ernesto Fariñas Wong**

** Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA), Universidad Central de Las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba.
e-mail: jcabeza@uclv.edu.cu*

Resumen

La estimación del recurso eólico de una locación es el primer paso para la futura instalación de un aerogenerador. Para definir las regiones con mejores condiciones en la instalación de pequeños aerogeneradores, o realizar estudios de factibilidad, es necesario el análisis de parámetros como la intensidad de turbulencias, los vectores de velocidades, sus direcciones y contornos de presiones en las zonas analizadas. Estas características permiten tomar decisiones y recomendar acciones a tener en cuenta. El Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA) cuenta con una pequeña máquina eólica en funcionamiento desde 2004. Desde su instalación presentó inestabilidad en su funcionamiento y sufrió varias roturas por diversas razones, la última en 2011. El objetivo del presente trabajo es establecer el comportamiento del viento en la Facultad de Ingeniería Mecánica, lugar donde se encuentra instalado el aerogenerador. Para la realización de la modelación se utilizó el software ANSYS 13.0-CFX, teniendo en cuenta sus potencialidades de cálculo, así como su posibilidad en la resolución de problemas de mecánica de los fluidos. Para las simulaciones se consideraron las características del terreno, las velocidades predominantes y los rumbos en los que se registraban las mayores frecuencias de incidencias; se realizaron ensayos bajo estas condiciones y se tomó un modelo de turbulencia k-Epsilon para los cálculos.

Los resultados mostraron la no existencia de condiciones para la instalación de aerogeneradores de eje horizontal y la ocurrencia de turbulencias y perturbaciones en el viento que influyen de manera negativa en el funcionamiento de la máquina.

Palabras clave: Energía eólica, pequeños aerogeneradores, turbulencia

Abstract

The estimation of the wind resource of a location is the first step for the future installation of a wind turbine. To define the regions with the best conditions in the installation of small wind turbines, or to carry out feasibility studies, it is necessary to analyze parameters such as the intensity of turbulence, speed vectors, their directions and contours of pressures in the analyzed zones. These characteristics allow decisions to be made and recommendations to be taken into account. The Center for Energy Studies and Environmental Technologies (CEETA) has a small wind turbine in operation since 2004. Ever since its installation, it has experienced operational instabilities and suffered several breakdowns for various reasons, the last one in 2011. The objective of this paper is to assess the wind characteristics in the area of the Faculty of Mechanical Engineering, where the wind turbine is installed. To carry out the modeling, we used the software ANSYS 13.0- CFX, taking into account its calculation potential, as well as its possibility in the resolution of fluid mechanics problems. For the simulations, the characteristics of the topography, the prevailing speeds and compass courses of the wind in which the highest incidence frequencies recorded were considered; tests were carried out under these conditions and a K- Epsilon turbulence model was taken for the calculations. The results showed the absence of conditions for the installation of horizontal axis wind turbines and the occurrence of turbulence and wind disturbances that have a negative influence on the operation of the machine.

Keywords: Wind energy, small wind turbines, turbulence

Introducción

El viento es una masa de aire en movimiento y una forma indirecta de la energía solar. Su estudio es imprescindible para determinar su potencial energético. La estimación del recurso eólico de una locación es el primer paso para la futura instalación de un aerogenerador. El presente trabajo busca vías y formas para conocer el comportamiento del viento en la zona de la Universidad Central de Las Villas (UCLV), fundamentalmente en la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM). Para este estudio se utilizó el software ANSYS-14.0, se tuvieron en cuenta los datos meteorológicos recopilados durante 20 años y los planos topográficos obtenidos en colaboración con profesores de la Facultad de Construcciones.

La ULCV se encuentra ubicada en un relieve irregular con pequeñas elevaciones, a una altura sobre el nivel del mar de 75 m, aproximadamente. La estructura arquitectónica de la ULCV aprovecha estos desniveles en el terreno, otorgándole características propicias a sus edificaciones, con diseños que se acomodan al terreno. Como muestra la figura 1, presenta un nivel de forestación media, con árboles relativamente altos que sobrepasan

la altura de las edificaciones de las facultades, o las cubren en algunos casos. Según Moreno y Herrera [2001], el indicador de rugosidad superficial aplicado a esta zona es de 0,250 m para el cálculo de velocidades teóricas en los lugares donde se estime la instalación de un aerogenerador.



*Fig. 1. Foto satelital de la zona de interés.
Fuente: www.maps.google.com.*

Para la simulación del viento sobre en el modelo geométrico del entorno de la Facultad de Ingeniería Mecánica se tuvo en cuenta su topografía, el cual fue elaborado utilizando los paquetes de Software Autodesk Inventor Professional y Autodesk 3Ds Max; con ello se conformó el terreno con sus desniveles en tres dimensiones.

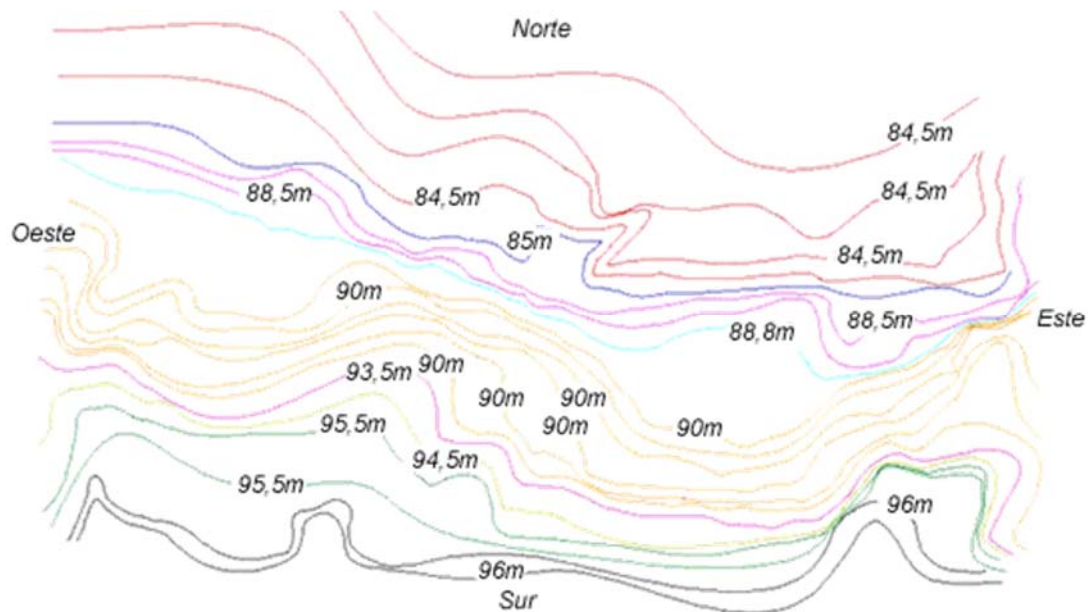


Fig. 2. Curvas de nivel de la Facultad de Mecánica y sus alrededores.

Para la construcción de la geometría se tomó un área de estudio cuyas dimensiones son 500 x 500 m, dentro de la cual se encuentran tres facultades de la zona central de la UCLV y un laboratorio. Estos edificios tienen una estructura que va desde 1 a 3 pisos con una altura promedio por piso de 3,5 m, y se adaptan al relieve del terreno, factor determinante en el comportamiento del viento a su paso.



Fig. 3. Terreno (3D) modelado usando los software Autodesk Inventor Professional y Autodesk 3Ds Max

Los parámetros del viento, como la velocidad, dirección y frecuencia, fueron suministrados por el Instituto de Meteorología (INSMET), que cuenta con un registro histórico desde 1977 a 2006, y la rosa de los vientos en ese período, de 16 rumbos. Después de un análisis se determinaron las direcciones de mayor incidencia en la zona del estudio, y en particular sobre la Facultad de Mecánica. Las velocidades predominantes se encuentran en un rango medio entre 3 m/s hasta 6 m/s, incidiendo con mayor frecuencia en las direcciones NE, ENE y E.

Selección del mallado: Cuando se realizan simulaciones con software de dinámica de fluidos computacional, el primer paso es generar un mallado de la zona de estudio. La necesidad de un mallado de calidad es importante cuando es mayor la turbulencia en la zona. El dominio computacional del fluido en el área de estudio, la cual se divide en volúmenes de control, en los que se deben satisfacer el equilibrio de las ecuaciones que rigen los fenómenos inerciales de cambios de velocidades, por lo que las características y el número de elementos influyen considerablemente en el proceso de resolución numérica. Antes de generar la malla se elabora el dominio de la zona donde se realizará el ensayo numérico, en el que para el caso de estudio tendrá 2 500 m de ancho por 2 500 m de largo y 100 m de altura, basándose en el criterio de que para la simulación de fluidos

libres el dominio debe ser 10 veces mayor que el área que se quiere analizar, según lo planteado por Kriznic [2009].

El dominio fue mallado con elementos no estructurados, discretizando el dominio con aproximadamente 3 315 620 células volumétricas, usando una mezcla de células de hexaedros y tetraedros. La densidad de la malla computacional se concentró en todo el plano del suelo y los edificios, siendo más fina en estas zonas con el objetivo de obtener resultados más confiables.

La malla generada puede observarse en la figura 4, en la que se da preferencia a células tetraédricas siempre que sea posible, para mejorar la estabilidad numérica en las simulaciones.

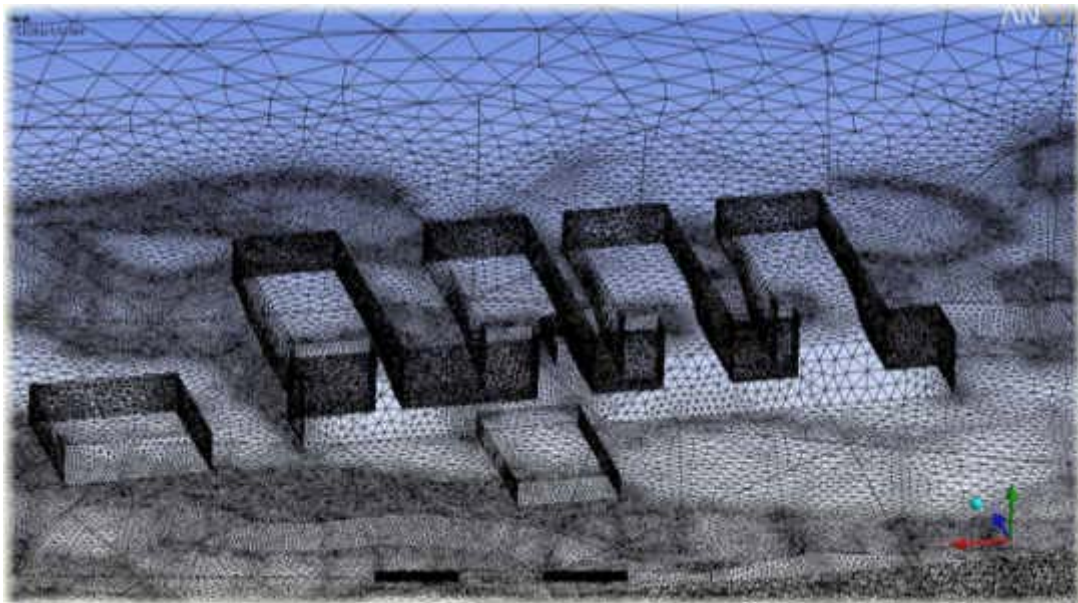


Fig. 4. Malla generada en el software Ansys 14.

Condiciones de ensayo: El software ANSYS 14.0-CFX brinda una metodología para realizar un ensayo numérico de los vientos sobre la geometría de los edificios que circundan la FIM; después de modelada la geometría, definido el dominio y generada la malla no estructurada con las condiciones expuestas, se le introducen al Setup los datos pertinentes para la simulación.

Se realizó una selección de velocidades para cada ensayo después de analizar los datos de los registros meteorológicos. Las velocidades en la zona no son considerables, su comportamiento está entre los 3 y 6 m/s, y se decidió realizar un ensayo a 10 m/s.

Condiciones para la simulación numérica: Para realizar los ensayos se tuvieron en cuenta parámetros como velocidades del viento a la entrada en

diferentes direcciones, que el aire no cambiara sus propiedades físicas al interactuar con los sólidos, y una temperatura de 25 °C.

Los códigos CFD han sido diseñados para el cálculo de la dinámica de los fluidos a través de la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes de forma discreta, para flujos laminares o turbulentos. ANSYS 14.0-CFX se compone de tres módulos estructurados, de forma que entre ellos pasa la información necesaria para el análisis CFD. Esta aplicación de la dinámica de fluidos en el software se desarrolla mediante la resolución de un modelo tipo RANS (Reynolds Averaged Navier & Stokes Equations); en este trabajo se utilizó el modelo de turbulencia RNG K-Epsilon para simular el flujo turbulento, con el objetivo de predecir los efectos de la turbulencia en el flujo sin necesidad de resolver todas las pequeñas escalas de las fluctuaciones turbulentas.

Análisis de los resultados

Velocidades del viento: Cada uno de los casos simulados tiene un comportamiento global diferente, debido a las variaciones en las condiciones de entrada y las direcciones de mayor frecuencia de incidencia según la rosa de los vientos. En la figura 5 se muestran los vectores de velocidades, que al chocar con las estructuras de las edificaciones toman un ángulo promedio con respecto al plano horizontal de 20 a 30°. Se estima que el comportamiento descrito por los vectores en estos ensayos numéricos, puede ser perjudicial si se colocase una máquina eólica dado el ángulo de incidencia del viento. Es apreciable la linealidad en la horizontal a partir de los 10 m de las cubiertas de los edificios.

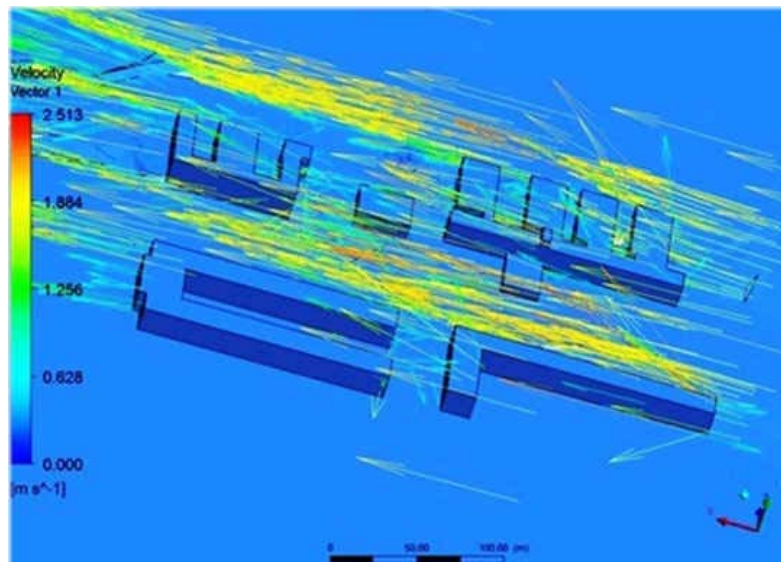


Fig. 5. Vectores de velocidad en el entorno analizado.

Análisis de los contornos de presiones: En la figura 6 aparece una distribución de colores sobre la superficie, representando los contornos de presiones y sus distribuciones según las direcciones del viento y las velocidades a diferentes alturas. Las presiones no varían significativamente producto de que las velocidades bajo las que se simulan no sobrepasan los 10 m/s.

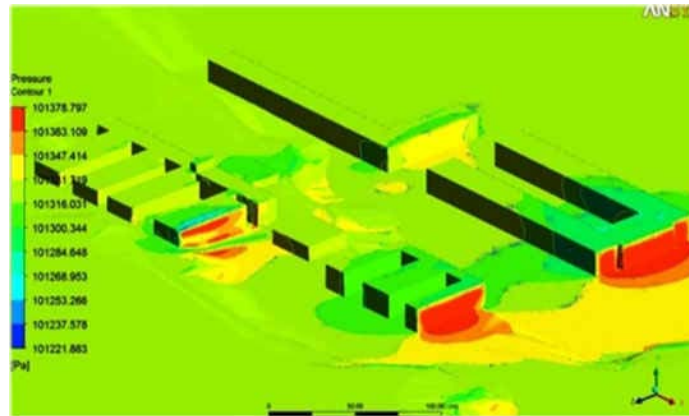


Fig. 6. Contorno de presiones.

Análisis de turbulencias: Las líneas y contornos de turbulencias (Fig. 7) representan el parámetro sobre el cual se tiene mayor interés en este estudio, así como para aplicaciones en la energía eólica. El viento sufre grandes vórtices producto de los obstáculos, entre los que encontramos edificios y desniveles en el terreno. El autor plantea que los árboles, aunque no se pudieron incluir en los ensayos numéricos por tener una conformación extremadamente compleja para generar su mallado utilizando el software ANSYS 14.0-Mesh, no se pueden excluir como causantes de grandes generadores de turbulencias.

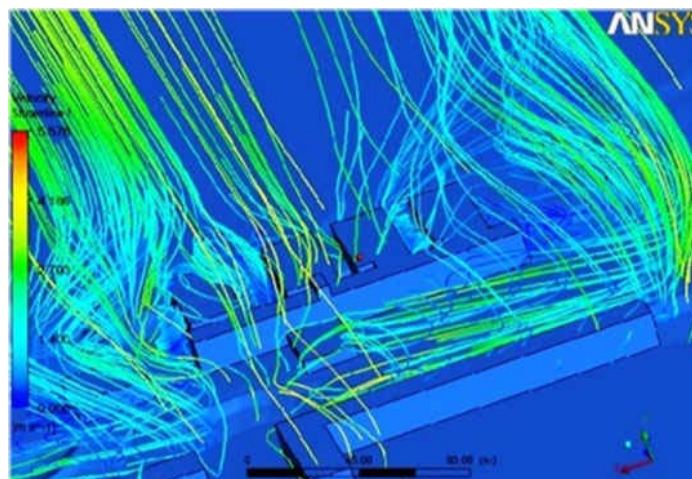


Fig. 7. Líneas de corrientes del viento (turbulencia).

La representación gráfica de las turbulencias origina un histograma donde se representa por el eje de las abscisas el porcentaje de turbulencias, contra las velocidades analizadas para cada caso por en eje de las ordenadas. La figura 8 representa la intensidad de turbulencia en porcentaje a diferentes velocidades, hasta llegar a la velocidad de simulación; en este caso se produce un incremento a medida que aumenta la velocidad de viento, comportamiento que se refleja de igual forma en todos los ensayos.

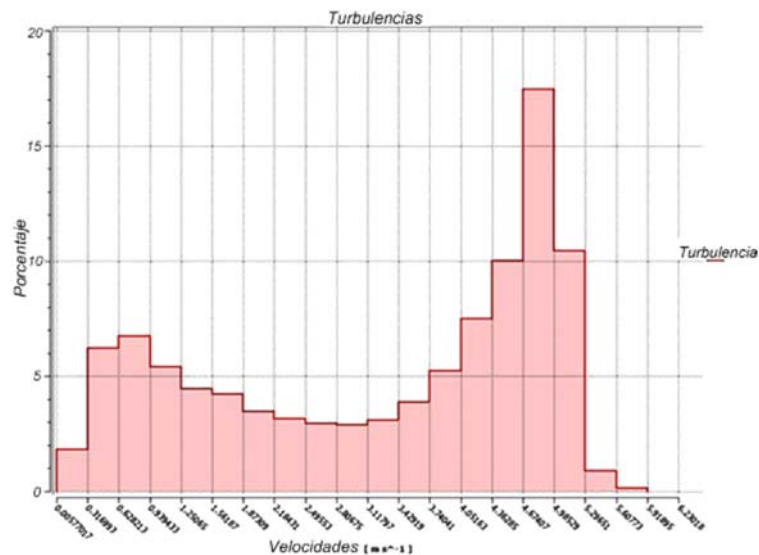


Fig. 8. Histograma de la intensidad de turbulencia con respecto a la velocidad.

Conclusiones

Las simulaciones numéricas de la zona de estudio muestran la presencia de fenómenos aerodinámicos y de turbulencia que pueden afectar el funcionamiento eficiente de un aerogenerador que se encuentre instalado a una altura menor de 10 m. Los vectores de velocidades en el dominio analizado muestran un comportamiento desorganizado, cambiando sus direcciones constantemente debido a la influencia de los obstáculos en la zona, como son los edificios y los desniveles en el terreno.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar otros software como el Gmesh, Gambit y el Netgen que generen la malla de todo el dominio incluyendo los árboles, con el objetivo de realizar las simulaciones numéricas y obtener comportamientos más reales del viento.

Instalar torres anemométricas en la zona analizada en este trabajo con el objetivo de obtener la distribución real de los vientos y compararlos con los del trabajo.

Bibliografía

- ANDERSON, J. D. (1995). *Computational Fluid Dynamics*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1995.
- CANCIANI, J. Y C. CEI (2009). *Edificios en altura y acción del viento*. Buenos Aires: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, 2009.
- CARRILLO, J. (2007). *Consideraciones del mallado aplicadas al cálculo de flujos bifásicos con las técnicas de dinámica de fluidos computacional*. (España): Escuela de Ingeniería de Caminos y Minas de Cartagena.
- FERREIRA, N. (2008). *Tutorial ANSYS Workbench 11.1*. Brasil: Departamento de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Federal de Río Grande del Norte Centro, 2008.
- <http://CFD for Urban Wind Analysis Turbine Placement Wind Siting CAEbridge, LLC.htm>, consultado: 3-05-012.
- JANSSEN, W. D. «CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus», en *Environmental Modeling & Software*, no. 30, pp. 15-34.
- KRIZNIC, P. (2009). «Using Computational Fluid Dynamics as a Tool in Siting Small-Scale Urban Wind Turbines on Buildings», en *SSEE International Conference. Solutions for a Sustainable Planet Society for Sustainability & Environmental Engineering*, Melbourne, Victoria, Australia, 22-24, noviembre, 2009.
- MORENO FIGUEREDO, C. Y O. HERRERA (2001). *Método simplificado para la determinación del potencial eólico cuando se desean instalar pequeñas máquinas eólicas*. La Habana: Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), 2001.
- MUCIÑO MORALES, D. (2009). «Evaluación del recurso eólico en la Ciudad Universitaria». Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.

Sistema integral de operación para generación eólica SioGE

Comprehensive operation system for wind generation

*Por Ing. Sandro Miguel Claro Díaz**

*e Ing. Isidro Yozán Pérez Aballe***

** Empresa Eléctrica Holguín, Cuba.*

*** Empresa de Hilandería Inejiro*

Asanuma, Holguín, Cuba.

e-mail: sandro@elechol.une.cu e isidro@gihilan.co.cu

Resumen

SioGE es un software diseñado para tener una mayor operatividad de la información con la que se trabaja en la operación de los parques eólicos de Gibara 1 y Gibara 2. Mediante el mismo se hace bastante fácil la obtención de datos tales como las alarmas que más afectan a los aerogeneradores, la frecuencia con la que aparecen y el tiempo en que fueron afectados. También se puede conocer la generación de los parques en un período, inclusive diariamente, así como su disponibilidad, con una visualización detallada del tiempo de parada por aerogenerador y la causa que la ocasionó. De igual modo, permite llevar el control de permisos de seguridad entregados al personal de mantenimiento, así como las tareas que quedan pendientes luego de alguna inspección. Mediante el software se hace bastante fácil obtener información, humaniza el trabajo de los operadores y centraliza toda la información con la que se trabaja. Permite un mayor aprovechamiento de la energía eólica, gracias al estudio y análisis estadístico de las fallas ocurridas.

Palabras clave: Energía eólica, mantenimiento, parque eólico, software

Abstract

SioGE is computer software designed to have a better operativeness of the information for the operation of the wind farms of Gibara 1 and Gibara 2. This software facilitates obtaining important data such as the alarms that most affect wind turbines, the frequency with which they happen and the time they were affected. It is also possible to know the generation of wind farms in a given period, including daily, as well as their availability, with a detailed visualization of wind turbine down time and the cause that provoked it. Similarly, it allows controlling security permits issued to maintenance personnel, as well as pending tasks after an inspection. Through the use of the software it is quite easy to obtain information, improve the labor of the operators and centralize all the operational information. It allows too a

better use of wind energy, thanks to the study and statistical analysis of the failures that have happened.

Keywords: Wind energy, maintenance, wind farm, software

Introducción

La Unidad Empresarial de Base (UEB) se encuentra situada en el municipio de Gibara, en la costa norte oriental, cuenta con dos pequeños emplazamientos eólicos de diferentes tecnologías y capacidades, separados a una distancia de 3 km entre ellos. El primero, Gibara 1, cuenta con 6 aerogeneradores de 850 kW de la tecnología española Gamesa, montado en el 2008, y el segundo, Gibara 2, dispone de 6 aerogeneradores de 750 kW de la tecnología china Goldwind, en funcionamiento desde finales del 2010; entre ambos se logra una potencia instalada de 9,6 MW.

Desarrollo

La operación de estos parques, así como la solución de algunas averías, en ocasiones se hacen complejas, pues el mismo personal es el que atiende ambos parques. Su operación se realiza de forma remota, desde un Centro de Control ubicado en Gibara 1, y a 3 km de Gibara 2. Ello se logra a través de 2 sistemas de control y supervisión (SCADA) totalmente diferentes entre sí, el SGIPE español y el GATEWAY danés, debido a la nacionalidad de ambos parques, los cuales brindan información en ocasiones insuficiente para realizar todos los análisis o estudios necesarios.

Por este motivo el operador en turno del parque toma algunos datos en tiempo real, como son la ocurrencia de alarmas, averías y fallas, y las registra de forma inmediata para su posterior análisis y solución. El registro de todos esos datos se guardaba en tablas de Excel, lo que hacía algo engorroso el trabajo con los mismos.

Para mejorar esta situación los compañeros del parque (operadores y especialistas) decidieron preparar algún tipo de sistema que permitiera realizar un registro más organizado de los datos, para así poder hacer mejor uso de los mismos. De ahí surgió el software SioGE (Sistema Integral de Operación para Generación Eólica), diseñado en Delphi v7 con una base de datos en Access, con la idea inicial de hacer un registro de las alarmas e incidencias que ocasionaban averías para su posterior análisis, y poder aplicar mejoras y realizar acciones de mantenimiento, con el fin de evitar afectaciones en el proceso productivo. Así se hizo y de esta forma se obtuvo un registro con un rápido acceso a la información de ambos parques, de tecnologías diferentes pero atendidas por el mismo personal, se logró realizar estudios estadísticos de la aparición de algunas alarmas

recurrentes, frecuencia con la que aparecían, solución que se les daba a estas, tiempo que estuvo afectado el aerogenerador, etc. (Fig. 1). La introducción de estos datos al sistema también permitió hacer cálculos de disponibilidad en diferentes períodos de tiempo, desglosados por aerogenerador, parque y UEB en general (Fig. 2).

AG PE	F PARADA	H PARADA	F ARRANC	H ARRANC	ESTADO	CAUSA	ALARMA No.	DESCRIPCION
12 PE Gb2	22/Mar/2013	16:43	22/Mar/2013	18:37	ERROR	LOGISTICA	0	DISPARO DEL INTERRUPTOR 0.390 HUBO QUE ESP
10 PE Gb2	22/Mar/2013	16:43	22/Mar/2013	18:37	ERROR	LOGISTICA	0	DISPARO DEL INTERRUPTOR 0.390 HUBO QUE ESP
09 PE Gb2	22/Mar/2013	16:43	22/Mar/2013	18:37	ERROR	LOGISTICA	0	DISPARO DEL INTERRUPTOR 0.390 HUBO QUE ESP
08 PE Gb2	22/Mar/2013	16:43	22/Mar/2013	18:37	ERROR	LOGISTICA	0	DISPARO DEL INTERRUPTOR 0.390 HUBO QUE ESP
07 PE Gb2	22/Mar/2013	16:43	22/Mar/2013	18:37	ERROR	LOGISTICA	0	DISPARO DEL INTERRUPTOR 0.390 HUBO QUE ESP
03 PE Gb1	23/Mar/2013	13:11	23/Mar/2013	14:05	IN COMUNICACION	MTTO	0	Reinicio de las celulas con SFE
01 PE Gb1	23/Mar/2013	13:11	23/Mar/2013	14:05	IN COMUNICACION	MTTO	0	Reinicio de las celulas con SFE
05 PE Gb1	23/Mar/2013	12:00	23/Mar/2013	13:10	IN COMUNICACION	MTTO	0	Reinicio de las celulas con SFE
04 PE Gb1	23/Mar/2013	12:00	23/Mar/2013	13:10	IN COMUNICACION	MTTO	0	Reinicio de las celulas con SFE
12 PE Gb2	23/Mar/2013	11:07	23/Mar/2013	11:46	ERROR	SEN_DISPARO	0	Disparo por 110 KV
10 PE Gb2	23/Mar/2013	11:07	23/Mar/2013	11:46	ERROR	SEN_DISPARO	0	Disparo por 110 KV
09 PE Gb2	23/Mar/2013	11:07	23/Mar/2013	11:46	ERROR	SEN_DISPARO	0	Disparo por 110 KV

Fig. 1. Entrada de datos.

Gibara1	Turb.OK	T. Paro	Disp
AG01	457.13	16.25	96.57 %
AG02	473.38	0.00	100.00 %
AG03	0	473.38	0.00 %
AG04	473.38	0.00	100.00 %
AG05	472.98	0.40	99.92 %
AG06	0	473.38	0.00 %
Total			66.080 %

Gibara2	Turb.OK	T. Paro	Disp
AG07	468.10	5.28	98.80 %
AG08	472.68	0.70	99.85 %
AG09	473.30	0.08	99.98 %
AG10	447.22	26.17	94.47 %
AG11	0	473.38	0.00 %
AG12	472.77	0.62	99.87 %
Total			82.177 %

Horas LINEA OK en G1: 473.38 h Horas LINEA OK en G2: 473.38 h
Afectación del SEN ó Despacho G1: 6.62 h Afectación del SEN ó Despacho G2: 6.62 h

Disponibilidad Total UEB: 74.129 %

Fig. 2. Disponibilidad.

A medida que se fue trabajando con el sistema, se le fueron agregando funcionalidades para mejorar el trabajo. Se introdujo también el control de permisos de seguridad para trabajos peligrosos (PT), que se entrega a los operarios o especialistas cuando se va a ejecutar algún trabajo de mantenimiento, o a atender alguna avería en los aerogeneradores. Se registran datos como: parque, consecutivo del PT (sugerido por el sistema para evitar duplicados), fecha, número de la orden de trabajo, hora de inicio y fin, lugar de trabajo, descripción del trabajo, operario que lo solicita y operador que lo otorga. Esto permite llevar un control organizado de los PT (Fig. 3).

Parque	No.	Fecha	NoOrden	Hora Inicio	Hora Fin	Lugar	Descripción	Solicitado por
PE Gbl	27	24/02/2013		09:09	14:34	AG-3	PRUEBA EN MARCHA DE AG3 CON TABUQUAS DE	Sando Clao Díaz
PE Gbl	26	23/02/2013		15:25	16:06	AG-3	Cambio de COU de la máquina 2 para la máquina 3.	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	25	23/02/2013		10:44	15:19	AG-2	Revisión de alarma 410 y 411. Lubier y 2 hombres.	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	24	11/02/2013		09:40	13:00	Góndola AG-6	Inspección Góndola AG-6	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	23	11/02/2013		09:38	13:50	AG-6	MTTO anticonsumo AG-6	Ángel Fernández
PE Gbl	22	08/02/2013	233	13:03	14:36	AG-1	REVISIÓN DE ALARMA 2230 "ERROR IGBT FASE T	Sando Clao Díaz
PE Gbl	21	07/02/2013		13:30	14:11	AG-1-5	Normalización de los fusibles de 36 kV AGA.	Sando Clao Díaz
PE Gbl	20	07/02/2013		10:00	14:17	AG-6	Preparación para puesta en marcha. Permiso de trabajo	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	19	06/02/2013		09:50	12:39	AG-6	Preparación de AG-6 para cambio de transformador y	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	18	06/02/2013		08:47	10:25	AG-1	Extracción Viga cambio de transformador en AG-1	Ángel Fernández
PE Gbl	17	05/02/2013		07:54	08:14	AG-1	Revisión de alarma 2230 Error IGBT Fase T. Práctica	Luis Pérez Pérez
PE Gbl	16	26/02/2013		10:06	13:24	AG-1	Cambio de amperímetro II	Eduardo Escalona S
PE Gbl	15	27/02/2013	225	09:54	12:05	AG-4	Cambio de amperímetro	Eduardo Escalona S
PE Gbl	14	27/02/2013	224	09:54	12:00	AG-5	Cambio de amperímetro	Sando Clao Díaz
PE Gbl	13	26/02/2013		10:00	13:56	AG-2	Cambio de libro generado	René Sánchez Bone
PE Gbl	12	26/02/2013		09:30	15:40	AG-4,5,6	Trabajo anticonsumo.	Lubier Díaz Batista
PE Gbl	11	26/02/2013		09:26	13:53	AG-1,2,3	Trabajo anticonsumo.	René Sánchez Bone
PE Gbl	10	15/02/2013	216	14:30	16:19	AG-4	PRUEBA DE UPS EN AG4	Sando Clao Díaz

Fig. 3 Control de permisos de seguridad.

También contamos con metro-contadores (MC) a la salida de las celdas totalizadoras en ambos parques, y con el sistema de control y supervisión EROS que lee y muestra, de estos últimos, importantes variables para la operación como lo son el voltaje, la potencia instantánea y el factor de potencia, así como la lectura de la energía entregada y consumida. Estos datos son registrados por el operador para llevar el record de los mismos, y poder hacer un análisis del comportamiento de la red eléctrica para analizar las distintas incidencias que puedan ocurrir, así como la potencia generada y consumida eliminando las pérdidas por transformación en los aerogeneradores, ya que estos MC miden la energía a la salida del parque. Para realizar el registro de estas lecturas de indicadores funcionales, se implementó una nueva ventana (Fig. 4). Se ingresan los datos y posteriormente puede analizarse la generación y el insumo en un período

de tiempo determinado, por ambos parques y en total (Fig. 5), y también puede tenerse un desglose diario de estos indicadores a través de otra ventana (Fig. 6).



Fig. 4. Lectura de indicadores.

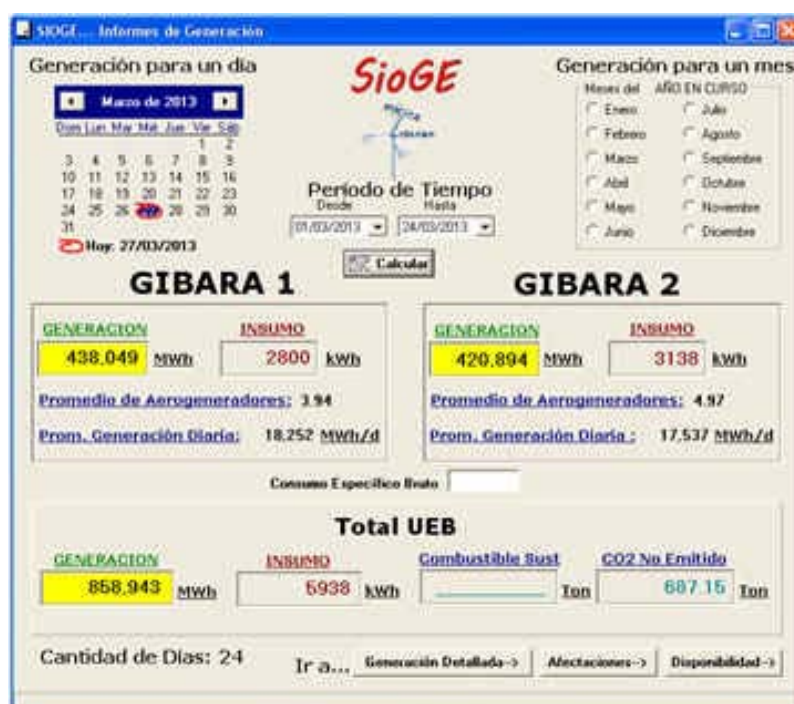


Fig. 5. Informes de generación.



Fig. 6. Generación detallada.

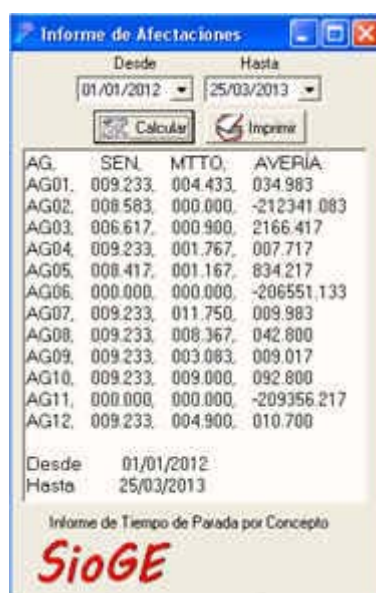
Estos datos, representados en la figura 6, pueden ser impresos a modo de informe y de la misma forma se pueden exportar a Excel, donde se realizan otros análisis estadísticos.

Otro aspecto importante que se ingresa al sistema es el registro de la manipulación de interruptores internos de la UEB (Fig. 7), para de igual forma llevar un record de las operaciones, así como los responsables, el tiempo que duró la manipulación, el número de vía libre, el trabajo que se realizó, etcétera.

Int. No.	F. Abierto	H. Abierto	F. Cerrado	H. Cerrado	Vía Libre	Observaciones	Operador	Usuario	Fecha
0-209-1	23/03/2013	14:05	23/03/2013	13:11	10	Refresco de las celdas con SPS.	Rolando Gómez	Rolando	24/03/2013
0-290	23/03/2013	13:11	23/03/2013	14:05	10	Refresco de las celdas con SPS.	Rolando Gómez	Rolando	24/03/2013
0-299-1	23/03/2013	12:10	23/03/2013	12:01	10	Refresco de las celdas con SPS.	Rolando Gómez	Rolando	24/03/2013
0-300	23/03/2013	12:01	23/03/2013	13:10	10	Refresco de las celdas con SPS.	Rolando Gómez	Rolando	24/03/2013
0-201	06/03/2013	10:05	06/03/2013	10:26	0	Extracción de la viga para cambio de Transf.	José García Sierra	Leandro	06/03/2013
0-291-1	06/03/2013	10:27	06/03/2013	10:04	0	Extracción de la viga para cambio de Transf.	José García Sierra	Leandro	06/03/2013
0-301	06/03/2013	10:03	06/03/2013	10:26	0	Extracción de la viga para cambio de Transf.	José García Sierra	Leandro	06/03/2013
0-200	07/03/2013	15:15	07/03/2013	15:43	0	Ajuste 0-200 por orden del despacho para manipulación de la cuchilla 0-258.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-299-1	07/03/2013	14:15	07/03/2013	13:39	0	Normalización de fusibles en las máquinas 1,2,3,4 y 5.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-200-1	07/03/2013	14:15	07/03/2013	13:39	0	Normalización de fusibles en las máquinas 1,2,3,4 y 5.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-300	07/03/2013	13:39	07/03/2013	14:15	0	Normalización de fusibles en las máquinas 1,2,3,4 y 5.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-299	07/03/2013	13:39	07/03/2013	14:15	0	Normalización de fusibles en las máquinas 1,2,3,4 y 5.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-268	07/03/2013	09:55	07/03/2013	15:16	0	Mantenimiento a la línea de 33 kV.	Rolando Gómez	Rolando	08/03/2013
0-366	08/02/2013	09:35	08/02/2013	11:08	2	Ajuste y revisión del Ground y Cables.	Eduar Batista	Eduar	08/02/2013
0-3763	08/02/2013	11:09	08/02/2013	09:34	2	Ajuste y revisión del Ground y Cables.	Eduar Batista	Eduar	08/02/2013
0-386	08/02/2013	09:33	08/02/2013	11:10	2	Ajuste y revisión del Ground y Cables.	Eduar Batista	Eduar	08/02/2013
0-374-1	07/02/2013	11:58	07/02/2013	10:30	6	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DEL GROUND.	Rolando Gómez	Rolando	08/02/2013
0-364	07/02/2013	10:30	07/02/2013	11:59	6	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DEL GROUND.	Rolando Gómez	Rolando	08/02/2013
0-304	07/02/2013	10:30	07/02/2013	11:59	6	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DEL GROUND.	Rolando Gómez	Rolando	08/02/2013

Fig. 7. Manipulación de interruptores.

La idea que comenzó con hacer un pequeño registro de algunos datos, se convirtió al final en un software que brinda una cantidad bien importante de datos que no ofrecen los SCADAS de las tecnologías instaladas; los datos de las alarmas y fallas son tomados de estos últimos, pero los de generación e insumo que se registran se obtienen a través del EROS, y los otros datos que se ingresan son producto del trabajo del operador del parque. Con esto podemos hacer análisis estadísticos de las averías, cálculos de disponibilidad, generación, insumo, e informes personalizados por aerogenerador (Fig. 8), entre otros. Esto facilita mucho el trabajo de los especialistas a la hora de elaborar algún informe, pues la obtención de los datos se hace de forma bastante fácil y rápida.



AG.	SEN.	MTT.	AVERIA.
AG01.	009.233.	004.433.	034.983
AG02.	008.583.	000.000.	-212341.083
AG03.	006.617.	000.900.	2166.417
AG04.	009.233.	001.767.	007.717
AG05.	008.417.	001.167.	834.217
AG06.	000.000.	000.000.	-206551.133
AG07.	009.233.	011.750.	009.983
AG08.	009.233.	008.367.	042.800
AG09.	009.233.	003.083.	009.017
AG10.	009.233.	009.000.	092.800
AG11.	000.000.	000.000.	-209356.217
AG12.	009.233.	004.900.	010.700

Desde: 01/01/2012
Hasta: 25/03/2013

Informe de Tiempo de Parada por Concepto

SioGE

Fig. 8. Informe de afectaciones.

Todo este conjunto de aspectos nos permite realizar seguimientos de indicadores operativos y de funcionamiento, y análisis básico para evaluar la marcha de los parques y aplicar mejoras y soluciones a los problemas que se puedan presentar.

Conclusiones

El software se ha estado utilizando desde julio de 2011 con buenos resultados y aceptación por parte de los operadores y especialistas, que han contribuido de forma directa a la aplicación y desarrollo del mismo. A pesar de no ser la vía convencional para la obtención de datos en emplazamientos de este tipo, en este caso ha servido de mucho pues somos pioneros en esta materia, y se han tenido que ir estableciendo los procedimientos de la forma convenida para funcionar lo mejor posible y

poder operar, supervisar, mantener y explotar el recurso eólico en estos dos parques que están instalados en la UEB.

Se conoce, además, que en un emplazamiento de este tipo con otras características, donde los aerogeneradores sean de una misma tecnología, independientemente de que haya una mayor cantidad de máquinas, estos estudios se realizan a través del SCADA, pero atendiendo a las características particulares del estudio, se decidió hacerlo de esta forma y así obtener una fuente común de información entre dos tecnologías diferentes.

Recomendaciones

Como proyección futura, para la mejora del sistema se prevé la interconexión entre el SioGE y el sistema EROS a través del protocolo de comunicación MODBUS, para eliminar la entrada de los datos de los indicadores funcionales de forma manual por el operador, y evitar así cualquier error humano. De esta forma se automatiza, humaniza y agiliza el trabajo. Sin embargo, hasta ahora es solo una idea que se espera materializar, y para ello se necesita el apoyo de otras instancias que permitan acceder a los datos generados por el sistema EROS y poderlos utilizar.

Bibliografía

Colectivo de Autores (2007). *Diez preguntas y respuestas sobre Energía Eólica*. La Habana: Ed. CUBASOLAR. ISBN 978-959-7113-34-8.
RODRÍGUEZ AMENEROS, J. L.; J. C. BURGOS DÍAZ Y S. ARNALTE GÓMEZ (2003). Ed. Rueda, S.L., 2003. ISBN 84-7207-139-1.
CHARTE OJEDA, FRANCISCO (2003). *Delphi 7*. Ed. Anaya Multimedia, 2003. ISBN 8441515549.

Los huracanes y los parques eólicos

Hurricanes and wind farms

Por Lic. Miriam E. Limia Martínez
y Lic. Yaima Rodríguez Valiente**

** Instituto de Meteorología (INSMET), La Habana, Cuba.
e-mail: miriam.limia@insmet.cu
y yaima.rodriguez@insmet.cu*

Resumen

Los huracanes son los fenómenos meteorológicos más devastadores en la región del Caribe. El conocimiento de sus características es muy importante, tanto para el diseño del parque eólico como para su explotación. El objetivo de este trabajo es explicar cómo en Cuba la información meteorológica relativa a los huracanes y otras variables meteorológicas, como el viento máximo anual, es utilizada en el diseño de un parque eólico, en la selección del tipo de aerogenerador y durante la explotación de los parques eólicos.

Palabras clave: Huracanes, parques eólicos, uso de información meteorológica

Abstract

Hurricanes are the most devastating natural disaster in the Caribbean region. The knowledge of its characteristics is very important, both for the design and exploitation of wind farms. The objective of this paper is to explain how the meteorological information related to hurricanes and other meteorological variables, such as the maximum annual wind, is used in Cuba in the design of a wind farm, the selection of the type of wind turbine and during the operation of the wind farms.

Keywords: Hurricanes, wind farms, use of weather information

Introducción

Los huracanes son los fenómenos meteorológicos más importantes a tomar en cuenta en un parque eólico, en la región donde ellos ocurren. Para seleccionar el lugar donde se instalará un parque eólico, el conocimiento de la probabilidad de afectación por un huracán juega un papel fundamental. Durante el proceso de diseño del parque eólico es necesario considerar la máxima intensidad del viento para diferentes valores de probabilidad en una región en específico, para poder realizar una selección adecuada del tipo de aerogenerador más conveniente bajo condiciones meteorológicas extremas. Dichos valores del viento son también utilizados en el cálculo ingenieril de la construcción de la torre que soporta el aerogenerador.

¿Qué es un huracán?

El huracán es un sistema atmosférico en el cual el viento fluye en forma espiral hacia el centro, con una circulación en el sentido contrario a la rotación de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y a favor en el hemisferio sur. El mismo tiene un núcleo caliente comúnmente llamado «ojo», caracterizado por poca nubosidad o cielo despejado y bajos valores del viento o calma, alrededor del cual existe una «pared» nubosa donde ocurren los máximos valores del viento y de las lluvias. Otra característica de los huracanes son las bandas nubosas de forma espiral donde también ocurren precipitaciones. Por lo general, los mayores valores del viento se registran en el cuadrante delantero derecho con respecto al cual se está moviendo el huracán.

De acuerdo a la intensidad de sus vientos, la presión mínima y los daños causados, los huracanes se clasifican según la escala Saffir-Simpson [Simpson, 1974], que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Escala de Saffir-Simpson para la clasificación de los huracanes

Categoría	Presión central, hPa	Viento máximo sostenido, km/h
1	980	118-153
2	965-979	154-177
3	945-964	178-209
4	920-944	210-250
5	< 920	> 250

En los huracanes existe una marcada diferencia entre la racha máxima y los vientos máximos sostenidos. Esta diferencia será menor sobre el océano que sobre tierra, especialmente en terrenos montañosos, ya que la misma se incrementa por los efectos de la superficie terrestre [Rodríguez, Pérez y Vega, 2010].

Por otra parte, en los huracanes se produce una importante variación de la velocidad del viento en la vertical, incrementándose notablemente con la

altura hasta los 500 m, donde puede registrarse una categoría de Saffir-Simpson inmediatamente superior a la observada en superficie, a 10 m de altura. Esta diferencia debe tenerse en cuenta durante el diseño, pues debe considerarse el viento a la altura del aerogenerador, el cual puede estar ubicado a diferentes alturas superiores a 10 m, que es la altura en la que comúnmente se mide la velocidad del viento en una estación meteorológica.

Aunque en cada temporada ciclónica se forman y desarrollan ciclones tropicales que alcanzan la categoría de huracán, para un lugar en específico los huracanes son fenómenos poco frecuentes. Estos fenómenos pueden afectar en un número mayor de uno en un mismo año a una misma localidad, o pueden transcurrir varios años sin que una localidad sea afectada por alguno. Esto es debido a que los huracanes, climatológicamente, en dependencia del mes y lugar donde se originen, siguen un determinado sentido en su trayectoria, el cual se modifica según las condiciones meteorológicas del momento.

Uso de la información sobre huracanes en el diseño del parque

La información sobre huracanes interviene con mayor peso en el proceso de selección del tipo de aerogenerador, en dependencia del huracán de mayor categoría según la escala Saffir Simpson [Simpson, 1974] que haya afectado el lugar seleccionado para el parque.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores diseñados para enfrentar las condiciones meteorológicas extremas, como las de un huracán. Según la norma internacional IEC 61400-1 de la Comisión Electrónica Internacional, existen cuatro clases de aerogeneradores de acuerdo a su capacidad para soportar la acción mecánica del viento, y ha dejado una quinta clase para condiciones especiales de viento en la cual los parámetros los define el diseñador. Otra forma de diseño de aerogeneradores para enfrentar los huracanes es el abatible, el cual puede inclinar su torre hasta casi colocar los álabes de la turbina en el suelo, cuyo proceso de izaje y descenso puede efectuarse en 45 minutos por dos operarios. Una explicación más detallada se encuentra en Moreno, et al. [2007].

La información de los valores del viento para los periodos de retorno prefijados, la altura a la que se ha diseñado ubicar la turbina del aerogenerador y la frecuencia de afectación de los huracanes, se combina con las características de los distintos tipos de aerogeneradores de que se tiene información. Luego se selecciona el modelo que reúna, en sí, las mejores características de resistencia a las condiciones del tiempo bajo un huracán, y de eficiencia del aerogenerador y sus costos, junto a otras características ventajosas desde el punto de vista del funcionamiento durante su explotación y vida útil, entre otros.

La información sobre huracanes se utiliza, también, en el diseño ingenieril de la construcción de la torre que soporta la góndola del aerogenerador, la cual debe a su vez resistir los vientos máximos de los huracanes y los vientos sostenidos, así como las características intrínsecas de este tipo de vientos. Como bien menciona Moreno et al. [2007], es un verdadero reto de la ingeniería estructural evitar las vibraciones resonantes en las torres diseñadas con suficiente resistencia para soportar las cargas extremas del viento.

Considerando todo lo expresado, es fácil comprender que una mejor determinación de los valores esperados del viento para las probabilidades requeridas por parte de los ingenieros, es de suma importancia. Limia y Vega [2011] encontraron una forma de calcular mejor la distribución extremal del viento máximo, analizando la estructura de los datos en la estación meteorológica de Casablanca, obteniendo coeficientes de correlación más altos y valores del viento esperado más próximos a los observados (80 m/s observado en 88 años y 81,8 m/s para un período de retorno de 100 años). La figura 1 muestra las ecuaciones de curvas ajustadas.

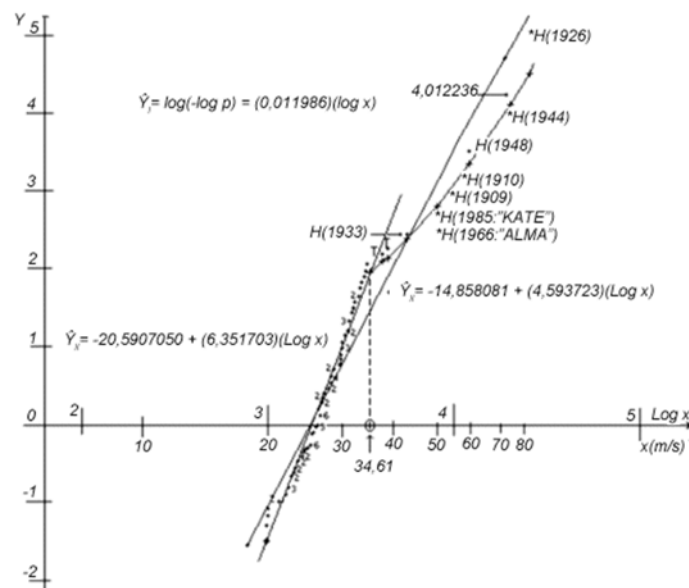


Fig. 1. Ajuste global ($\hat{Y}$) del modelo de Frechet y curvas del ajuste modificado ($\hat{Y}_I$ y $\hat{Y}_{II}$) a las rachas máximas anuales. Casablanca, Cuba (1909-1996).

Uso de la información sobre huracanes en la explotación del parque

Durante la explotación del parque la información de huracanes que se utiliza es la del pronóstico de estos fenómenos meteorológicos. Es conocido que en Cuba existe un sistema integrado por el Instituto de Meteorología, la

Defensa Civil y los Órganos del Poder Popular, el cual tiene establecidas las distintas fases de aviso y las medidas a cumplir en cada una, conocido como Programa Nacional de la Defensa Civil para la prevención de desastres.

Para los parques eólicos también existen orientaciones específicas a cumplir para la protección y resguardo de los mismos. Moreno et al. [2007], considerando las experiencias en algunos parques eólicos que han sufrido el impacto de huracanes en otros países, propone algunas acciones para que sean tenidas en cuenta en el Programa Nacional de la Defensa Civil para la protección de desastres, como son la parada del parque ante la amenaza de huracán, y considerar, al momento de la arrancada después del paso del huracán, la presencia de personal de la empresa constructora de los aerogeneradores, personal del parque y de la empresa de distribución y transmisión de la energía.

A modo de conclusión, las autoras desean expresar que en Cuba el proceso de construcción de los parques eólicos con fines de generación de electricidad ha estado integrado por un amplio grupo multidisciplinario, que ha unido a meteorólogos e ingenieros de distintas ramas, así como a dirigentes de altas esferas, que juntos han aunado esfuerzos e intercambiado conocimientos con el fin de llevar esta tarea al éxito. Un ejemplo de ello es el libro *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*, que forma parte de la bibliografía del presente trabajo.

Bibliografía

- LIMIA, M. Y R. VEGA (2010). «Una mejor determinación del peligro por vientos extremos para la gestión de desastres», en V Taller Internacional de Ingeniería y Arquitectura para la Reducción de Desastres, en *Memorias de la 15 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, nov. 29-dic. 3, La Habana, 2010.
- MORENO, CONRADO, J. MARTÍNEZ, G. LEIVA, A. ROQUE, R. NOVO, A. COSTA, C. LLANES, O. HERRERA, A. SARMIENTO, R. PÉREZ, M. LIMIA, R. VEGA, A.
- MONTESINOS Y M. MENÉNDEZ (2007). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Editorial CUBASOLAR, 2007.
- RODRÍGUEZ, Y.; R. PÉREZ Y R. VEGA (2010). «El peligro de fuertes vientos: una nueva evaluación». Tesis de grado en opción al título de Licenciado en Meteorología, Instituto de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INsTEC), La Habana, 2010.
- SIMPSON, R. H. (1974). «The hurricane disaster potential scale», en *Weatherwise*, 27, pp. 169-186, 1974.

Eficiencia energética y energía renovable. Potencialidades de las redes de energía del Ministerio de Educación Superior de Cuba

Energy efficiency and renewable energy. Possibilities of the energy networks of the Ministry of Higher Education of Cuba

Por Ing. Raúl E. Torres Fuentes,
Ing. Miguel P. García Fernández*
y Dr. Mario Ignacio Herrera Prat**

** Ministerio de Educación Superior (MES), Cuba.
e-mail: traul@mes.gob.cu; pelayo@mes.gob.cu;
herrera@mes.gob.cu*

Resumen

Se presenta un análisis de las potencialidades de la Red de Centros del Ministerio de Educación Superior (MES), de Cuba, para dar cumplimiento a diferentes tareas que contribuyan a resolver los problemas de mayor impacto en la eficiencia económica, y a la creación de las necesarias condiciones infraestructurales y productivas que permitan el tránsito hacia una etapa superior de desarrollo del país. El impacto se focaliza por medio de la atención a la organización y ejecución de acciones en las temáticas de energía, a través de una agrupación especializada por las diferentes fuentes y sistemas energéticos, enmarcados en la definición de dos conceptos básicos: la eficiencia energética y las fuentes renovables de energía. El análisis de las potencialidades del MES para contribuir al desarrollo del país, es realizado en base a sus capacidades en la formación de profesionales en las diferentes ramas del saber, vinculadas con las temáticas de energía, así como del postgrado incluyendo doctorados, y la formación y capacitación continuas del personal técnico y cuadros calificados de las principales áreas de la producción y los servicios. De igual forma se muestran algunos resultados obtenidos a través de varias redes tecnológicas, cuyas temáticas principales se vinculan con temas de eficiencia energética y de las fuentes renovables de energía.

Palabras clave: Energía, eficiencia energética, fuentes renovables de energía, desarrollo sostenible

Abstract

An analysis of the potential of the Network of Centers of the Ministry of Higher Education (MES) of Cuba is presented, in order to comply with different tasks that contribute to solving the problems with the greatest impact on economic efficiency, and the creation of the necessary infrastructural and productive conditions that allow the transit towards a higher stage of development of the country. The impact is focused through

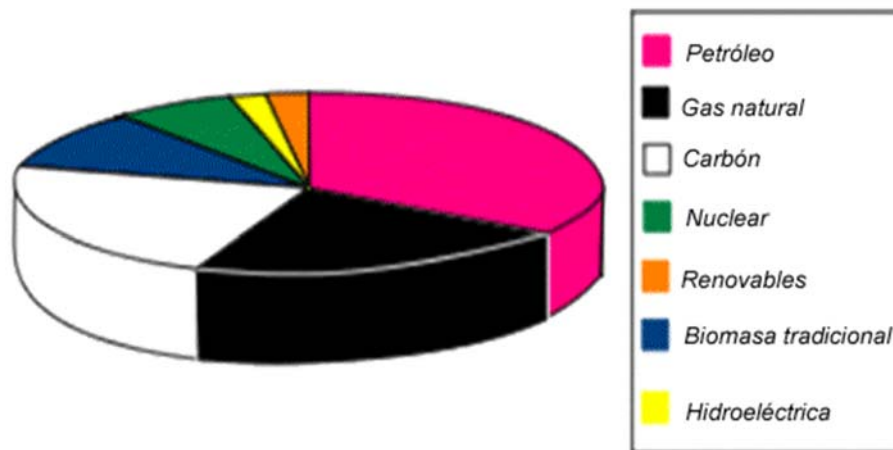
the attention to the organization and execution of actions in energy issues, through a specialized grouping by different energy sources and systems, framed in the definition of two basic concepts: energy efficiency and renewable sources of energy. The analysis of the potential of the MES to contribute to the development of the country, is made based on its capabilities in the training of professionals in the different branches of knowledge, related to energy issues, as well as postgraduate including PhDs, and training and continuous training of technical staff and skilled cadres from the main areas of production and services. Likewise, some results obtained through various technological networks are shown, whose main themes are linked to energy efficiency issues and renewable energy sources.

Keywords: Energy, energy efficiency, renewable energy sources, sustainable development

Introducción

A lo largo de los milenios la humanidad ha utilizado los diferentes recursos energéticos existentes en la naturaleza. En cualquier caso, su origen común podemos identificarlo en la energía proveniente del Sol, un auténtico reactor que a millones de kilómetros de distancia de la Tierra actúa como motor del clima y de la fotosíntesis, sustento de la vida en el planeta.

Cuando siglos después el hombre empezó a explotar los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), no hizo otra cosa que seguir utilizando esa energía solar acumulada por los ecosistemas millones de años atrás. En tiempos recientes, con el descubrimiento de la energía nuclear, el hombre ha sido capaz, por primera vez, de generar y utilizar una fuente de energía completamente independiente del Sol. Sin embargo, la mayor parte de la energía primaria utilizada en el 2000 en el mundo sigue proviniendo, en última instancia, del Sol, con 93% (88% de los combustibles fósiles, más 5% de fuentes renovables), frente a 7% proveniente de la energía nuclear y de otras energías, como la geotérmica y la mareomotriz (Fig. 1).



*Fig. 1. Distribución del consumo de energía primaria en el mundo en 2000: 93% proveniente del Sol (39% petróleo, 25% carbón, 24% gas y 5% renovables) y 7% no provenientes del Sol (nuclear, geotérmica y mareomotriz).
Fuente: Informe British Petroleum, 2000.*

Las fuentes primarias de energía son aquellas que son de uso directo, o se emplean para generar electricidad. El criterio básico que se ha establecido para su clasificación es el de las posibilidades de regeneración. De esta forma se distinguen dos tipos fundamentales:

- Fuentes no renovables de energía (fósil y nuclear).
- Fuentes renovables de energía (restantes).

Las primeras son finitas porque su consumo disminuye las existencias disponibles. Las segundas tienen su origen en el flujo continuo de la energía del Sol, y se disipan a través de los ciclos naturales. Su uso es por tanto ilimitado.

El siglo xx, 270 años después del dominio de la electricidad por el hombre, significó la etapa de la gran intensificación de su uso, llegando al extremo actual de no concebirse el mundo sin la electricidad. Tal aseveración se demuestra al observar los consumos a nivel mundial en los últimos años, que han alcanzado valores cercanos a los 30 millones diarios de toneladas de petróleo equivalente, de los cuales cerca de 35% fue utilizado para la producción de electricidad, y el resto para el sector comercial, industrial y en el transporte.

Por otra parte, las energías primarias participaron en la generación de la electricidad en el mundo de la manera siguiente (Fig. 2):

- Fuentes no renovables con 81,0%; de ellas: fósiles 67,6% (petróleo 5,5%, carbón 40,0% y gas 21,3%); y la nuclear 13,4%.

- Fuentes renovables con 19,0%; de ellas: hidroenergía (16,2%), y otras (2,8%).

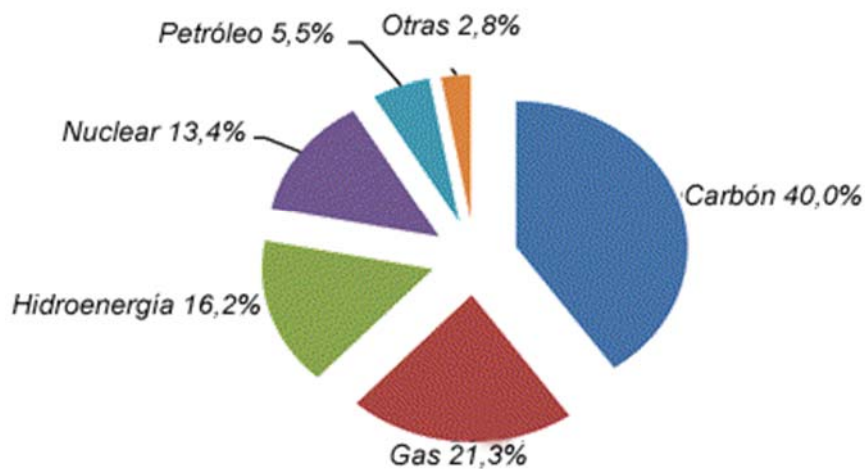


Fig. 2. Producción de electricidad en el mundo a partir de las fuentes no renovables 81,0% (fósil 67,6% y nuclear 13,4%) y renovables 19,0%, en el 2008.

Fuente: Asociación Nuclear Mundial.

La emisión de CO₂ a la atmósfera debido a la combustión de los fósiles impacta de manera significativa al medio ambiente. Cada kWh producido a nivel de planta de generación, emite a la atmósfera 0,6 kg de CO₂. En mayo de 2013 la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera alcanzó la cifra record de 400 partes por millón de moléculas. (Fuente: Estación Atmosférica Mauna Loa, Hawái).

Una solución eficaz para la disminución de gases causantes del efecto invernadero es el uso eficiente de la energía. Este uso eficiente reduce las emisiones causadas por el consumo energético a un mínimo, al disminuir las emisiones de CO₂ en las plantas de generación con combustibles fósiles. Además, tiene también bastante sentido en el mediano plazo llegar a independizarse, en la medida de lo posible, de las fuentes fósiles de energía. Ello solo es viable mediante el aprovechamiento de tecnologías energéticas renovables, a las que aún se les atribuye un carácter no competitivo. De incrementarse los precios de los combustibles fósiles en el futuro, como está previsto por algunos especialistas, el uso de las fuentes renovables será la alternativa cada vez más ventajosa.

Se concluye que soluciones económicamente ventajosas y viables pueden resultar a través de una estrategia combinada:

- Ahorro y conservación de la energía.
- Uso eficiente de la energía.
- Incremento del uso de las fuentes renovables de energía.

Una visión del escenario alternativo para la producción de electricidad hasta el 2050, muestra un incremento progresivo de la energía eólica, la concentración solar, la fotovoltaica y, de manera muy significativa, la eficiencia energética (Fig. 3).

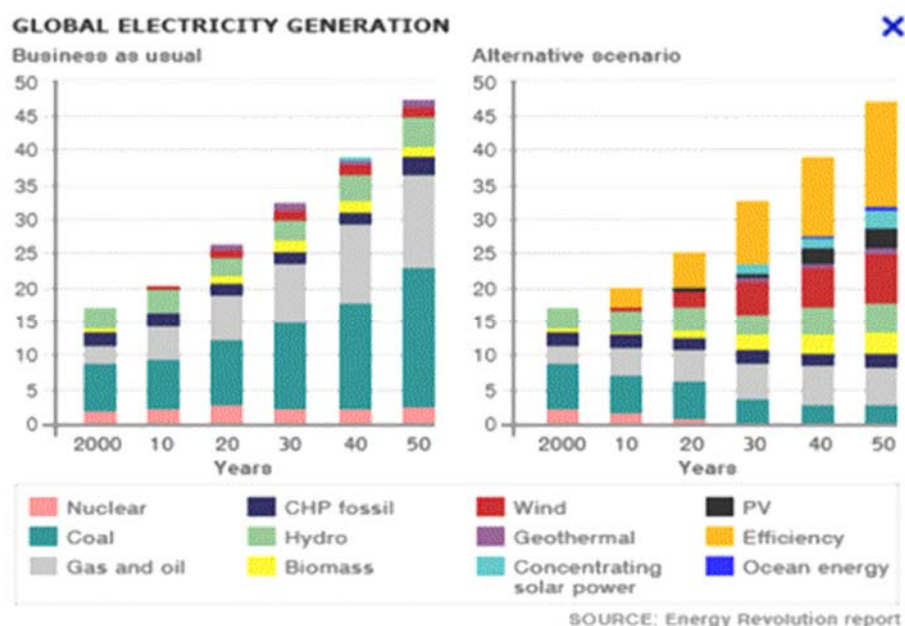


Fig. 3. Generación global de electricidad vs. Escenario alternativo (Business as usual vs. Alternative scenario).

Red institucional de perfil energético

La actividad científica constituye una de las actividades fundamentales de la educación superior cubana. Su práctica en las universidades adscriptas al MES, se inserta en el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del país, y tiene como objetivo prioritario el de contribuir de forma efectiva al desarrollo socio-económico y científico-técnico del país, mediante vínculos curriculares y extracurriculares de sus profesores, investigadores y estudiantes con las diferentes empresas e instituciones del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), rector de la energía en el país, así como de otros organismos del Estado. Esta relación universidad-empresa permite trabajar en la solución de los problemas actuales de la economía, mediante la introducción de los resultados de las investigaciones y la transferencia de tecnologías; y al propio tiempo, favorecer la calidad del proceso docente-educativo de las diferentes carreras y las actividades de postgrado.

Uno de los aspectos principales de la actividad científica de las universidades se relaciona con la innovación, conducente al cambio tecnológico y al incremento de la eficiencia y de la productividad del trabajo, considerando que estos, junto con los demás procesos de la innovación, son factores principales que contribuyen al desarrollo económico y social del país.

Para llevar adelante estos propósitos, el MES cuenta con 21 universidades, 33 entidades de ciencia e innovación tecnológica (ECIT) y 86 centros de estudio, con participación anual de más de 9 mil profesores e investigadores, y más de 20 mil estudiantes universitarios en actividades de investigación e innovación tecnológica en diferentes ramas de la economía nacional.

En correspondencia con la importancia que la energía tiene en el desarrollo de la sociedad y la vida, especialmente en el aspecto económico y en la protección del medio ambiente, 11 universidades han constituido un total de 16 centros de estudios e investigaciones para la realización de actividades, principalmente en temas energéticos y medioambientales.

Diez carreras universitarias en nuestro país gradúan especialistas con un amplio perfil energético y medioambiental: Ingeniería Mecánica (en 10 universidades), Ingeniería Eléctrica (en 5 universidades), Ingeniería Química (en 6 universidades), Licenciatura Química (en 3 universidades), Ingeniería Automática (en 3 universidades), Ingeniería Industrial (en 10 universidades), Ingeniería Hidráulica (en 4 universidades); Arquitectura (en 4 universidades), Ingeniería en Tecnologías Nucleares y Energéticas (en 1 universidad) y la carrera de Ingeniería Agrícola (en 4 universidades).

El total de horas previstas en esos planes es de algo más de 4 800, que se diseñan en tres partes diferentes. La primera, de carácter estatal, aborda los contenidos principales de cada disciplina, con lo cual se asegura el cumplimiento de los objetivos generales de la carrera. La segunda parte, denominada propia, y la tercera (optativo-electiva), abarcan como promedio algo más de 20% del total de horas lectivas. Todo ello persigue que el proceso de formación prepare a los estudiantes para enfrentar los complejos retos de la época actual, y participar activamente en el desarrollo económico y social del país.

Por la importancia que revisten en particular los temas sobre fuentes renovables de energía, se imparten en todas las carreras de ciencias técnicas, desde el currículo estatal, propio y el optativo-electivo, según las necesidades del Modelo del Profesional y de los objetivos educativos e instructivos que deban cumplirse.

Los temas de fuentes renovables de energía que se abordan en las carreras de ciencias técnicas tienen su base fundamental en los propios objetivos educativos e instructivos, que van desde el fomento de una educación ambientalista y de una cultura del ahorro, el uso eficiente y de conservación de la energía, hasta el desarrollo de complejos fundamentos científicos con herramientas matemáticas y de programas informáticos, que les permitan comprender las tecnologías actuales y desarrollar otras más eficientes y menos agresivas al medio ambiente.

Todo ello sobre la lógica de desestimular el uso de combustibles fósiles y nucleares, y potenciar el incremento de las fuentes renovables que se basan en la utilización de la fuerza del viento, las radiaciones del Sol, la fuerza de las aguas, las diferencias naturales de temperaturas, la transformación química de desechos forestales y orgánicos, y otros que eliminan la polución y contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Red de Energía del MES

Para el cumplimiento de los objetivos planteados para la actividad de investigación, desarrollo e innovación en temas de energía, en el MES está organizada la Red de Energía, la que consta a su vez de varias redes temáticas que funcionan establemente, con impactos nacionales:

- Red de Eficiencia Energética.
- Red de Generación Distribuida.
- Red de Fuentes Renovables de Energía.
- Red Universitaria de Biogás.
- Redes por proyectos: Proyecto BIOMAS-CUBA y Proyecto SURE: Modelo para el apoyo a la toma de decisiones.

Red de Eficiencia Energética del MES

La Red de Eficiencia Energética del MES es coordinada por la Universidad de Cienfuegos (UCF), e integra la acción de los centros de estudio y grupos de investigación que trabajan en el campo de la eficiencia energética, mediante proyectos de investigación científica y un sistema de formación de recursos humanos, publicaciones y eventos especializados, comprendiendo a todos los centros e instituciones adscriptos al MES.

Las universidades han desarrollado una serie de acciones para aplicar en cada centro la Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía (TGTEE). Actualmente la Red trabaja en la asimilación y aplicación en todo su accionar, de la Norma Internacional ISO 50001:2011, adoptada por Cuba como NC-ISO 50 001. La misma establece un marco para las plantas

industriales y las instalaciones comerciales u organizaciones, para gestionar toda la energía. Orientación de amplia aplicabilidad en sectores económicos nacionales, se estima que la aplicación de la Norma podría influir hasta en 60% del consumo de energía del mundo, y se basa en los elementos comunes que se encuentran en todas las normas ISO de administración de sistemas, asegurando un alto nivel de compatibilidad con la norma ISO 9001 (Gestión de calidad) e ISO 14001 (Gestión medioambiental). La Norma ISO 50001 proporciona los beneficios siguientes, entre otros:

- Un marco para la integración de la eficiencia energética en las prácticas de gestión.
- Evaluación comparativa de medición, documentación y presentación de informes de mejoras de la intensidad energética y sus efectos previstos en la reducción de GEI.
- Evaluar y priorizar la aplicación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Mejorar la gestión en proyectos de reducción de emisiones de GEI.

Red Nacional de Generación Distribuida UNE-MES

La Red Nacional de la Unión Eléctrica (UNE) y el MES, UNE-MES, fue creada en julio de 2006 y está integrada por especialistas de las direcciones provinciales de generación distribuida de la UNE y de las universidades adscriptas al MES. La coordinación nacional de la red está concebida, de forma conjunta, por la Dirección de Generación Distribuida de la UNE-MINBAS y el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE).

Red Nacional de Fuentes Renovables de Energía

Por acuerdo del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba, en enero de 1995 se crea la Universidad Técnica de Energía Renovable (UTER) como red de universidades cubanas con grupos de trabajo en temas energéticos. Esta Red es coordinada por el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), del ISPJAE. Su objetivo fundamental es potenciar y promover los proyectos y la formación de recursos humanos vinculados a las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética.

La UTER es la red de universidades del MES para contribuir al desarrollo energético de la sociedad cubana, especialmente en la utilización de las fuentes renovables de energía, con énfasis en las acciones de investigación y desarrollo, el pregrado y el postgrado.

En todas las universidades del país involucradas con la UTER, se desarrollan carreras que imparten asignaturas relacionadas con los procesos energéticos en busca del mejoramiento de la eficiencia energética de las máquinas, equipos e instalaciones térmicas, así como diversas temáticas relacionadas con el uso y desarrollo de las fuentes renovables de energía.

Red Universitaria de Biogás

La Red Universitaria de Biogás, del MES, fue constituida el 18 de enero de 2011 y es coordinada por el Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), del ISPJAE. Fue creada con el objetivo de potenciar el desarrollo universitario en temas relacionados con soluciones medioambientales y energéticas a partir de los residuos biodegradables, considerando que los provenientes de diversas fuentes en la vida social y económica de la humanidad significan un vasto potencial de materia prima para la generación de energía útil (térmica o eléctrica), por medio de la digestión anaerobia.

Redes por Proyectos

En el MES están organizadas dos redes de cooperación asociadas a proyectos internacionales, que se relacionan, fundamentalmente, con el desarrollo energético de comunidades rurales:

- SURE: Modelo para el apoyo a la toma de decisiones, con diseminación y aplicación práctica en centros de educación superior del país (RESURL III). Esta Red es coordinada por el Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Aplicadas (CEETA), de la Universidad Central de Las Villas (UCLV). Su objetivo es la diseminación y aplicación práctica, por los centros de educación superior del país, de un modelo para el apoyo a la toma de decisiones con vistas a dar solución al suministro de energía en comunidades rurales aisladas.
- La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural (BIOMAS-CUBA). Esta Red es coordinada por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), de la Universidad de Matanzas (UMCC), y tiene como objetivo fundamental garantizar un desarrollo energético sostenible en comunidades rurales a partir de fuentes renovables, tales como biogás, biocombustibles y gasificación de la biomasa.

Política para el uso y desarrollo de las fuentes renovables de energía

En el 2007 el país creó el Grupo Nacional para el desarrollo de la energía renovable, la cogeneración, el ahorro y la eficiencia energética, en el cual el MES a través de las universidades mantiene, una activa participación en el

trabajo de cada una de las fuentes, esencialmente en la eólica, la fotovoltaica, la biomasa, el biogás y la eficiencia energética, así como en los grupos de perspectiva, coordinados por universidades del MES: cogeneración, energía del mar, acumulación de energía e hidrógeno-celdas combustibles.

Con el trabajo de más de 6 años, y como forma de priorizar aquellas fuentes con experiencias concretas y para elevar el aporte de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) al desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética, se trabaja en los programas respectivos de eficiencia y conservación energética, y de fuentes renovables de energía.

Resultados del trabajo en redes

Las Redes de Energía del MES integran la acción de los centros de estudio y grupos de investigación que trabajan en el campo de la eficiencia energética y las fuentes renovables de energía, mediante proyectos de investigación científica, y un sistema de formación de recursos humanos, publicaciones y eventos especializados.

El sistema de redes de energía de la educación superior trabaja de forma armónica, posibilitando que se integren las acciones del mundo universitario, los centros de investigaciones y demás centros adscriptos.

A continuación se exponen algunos ejemplos de resultados y acciones que dan fe del trabajo integrado que realiza el MES en las diferentes temáticas de la energía:

- Desarrollo de la Maestría de Eficiencia Energética con más de 200 graduados, con resultados de alto impacto en eficiencia energética y fuentes renovables de energía, en los centros de procedencia de los maestrantes y los territorios.
- Realización de la primera versión de la Maestría de Energía Renovable en La Habana, por el ISPJAE, previéndose en lo sucesivo su apertura en otras provincias, por las principales universidades.
- Impartición de cursos de postgrado y entrenamientos específicos, en las temáticas de cada una de las redes tecnológicas a diferentes organismos, participando profesores y especialistas de todos los centros del MES.
- Las acciones de capacitación y formación de los recursos humanos en los territorios comprenden varias temáticas que convergen directa o indirectamente con el uso de los portadores energéticos, entre ellas: refrigeración, tecnología de avanzada en los motores de combustión interna, explotación y reparación automotriz, hidrógeno,

biogás, eólica, gasificación de biomasa y otras relacionadas con la gestión eficiente de la energía y el uso de las fuentes renovables de energía.

- Se han obtenido diferentes resultados a través de proyectos, nacionales e internacionales, de investigaciones aplicadas en organismos, comunidades y actividades económicas y sociales del país.
- Estas acciones aportan contribuciones significativas en la formación de doctores a través de programas doctorales y de tutoría de aspirantes, así como en la formación de másteres.

En la industria del níquel se han realizado estudios geológicos y de explotación minera, de eficiencia energética y metalúrgica, diseño y proyectos. En energía, el perfeccionamiento de la explotación del sistema electro-energético nacional, combustión y supervisión en termoeléctricas, nuevas aplicaciones de la TGTEE y la Norma ISO 50 001, digestores para biogás, consultoría y asesoría para las políticas nacionales de fuentes renovables de energía, en especial fotovoltaica y eólica.

Conclusiones

1. El MES presenta una favorable integración de sus funciones sustantivas, pregrado, postgrado e investigación, en función de la actividad energética, especialmente en la eficiencia energética y el uso y desarrollo de las fuentes renovables de energía.
2. En la investigación-desarrollo-innovación se destacan los resultados generalizados de las redes de Eficiencia Energética, Generación Distribuida y Energía Renovable.
3. La Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía (TGTEE), aplicada en varios centros y organismos de la Administración Central del Estado, y en los propios centros del MES donde se trabaja como objetivo para su generalización, cuenta con una amplia actividad de capacitación y cooperación nacional y regional, con resultados positivos.

En general, las universidades cubanas del Ministerio de Educación Superior se han integrado, de conjunto con todos los organismos cuyas misiones estatales se relacionan con el desarrollo energético, a trabajar en correspondencia con la voluntad del país de alcanzar un desarrollo energético sostenible, y de promover la asimilación de tecnologías modernas para lograr la utilización eficiente de los recursos energéticos fósiles, con una mínima agresión al medio ambiente; y también asimilando

y creando capacidades propias para incrementar, cada vez más, el uso de las fuentes renovables de energía.

Bibliografía

Asociación Mundial de Energía Nuclear. *Informe 2008*.

BORROTO NORDELO, ANÍBAL E.; JOSÉ P. MONTEAGUDO YANES, et al. (2006).

Gestión y Economía Energética. Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Editorial Universidad de Cienfuegos, 2006. ISBN 959-257-114-7.

BORROTO NORDELO, ANÍBAL; JOSÉ MONTEAGUDO YANES Y MARCOS DE ARMAS TEYRA (2002). *Ahorro de energía en sistemas termomecánicos*. Cienfuegos: 2002. ISBN 959-257-045-0. British Petroleum. *Informe 2000*.

Colectivo de autores (2010). *Fuentes renovables de energía*. La Habana: CETER, CUJAE, 2010. *Energy Revolution Report*. 2008.

FRIEDRICH, F. J. (1984). *La energía de la biomasa*.

MORENO FIGUEREDO, CONRADO, et al. (2008). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Ed. CUBASOLAR, 2008.

VIEGO FELIPE, PERCY; MARCOS DE ARMAS TEYRA Y ARTURO PADRÓN PADRÓN (2002). *Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico industrial*. Cienfuegos: CEMA, Editorial Universidad de Cienfuegos, 2002. ISBN 959-257-041-8.

Eco Solar es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

DIRECTOR GENERAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

DIRECTOR:

M.Sc. Manuel Álvarez González.

EDITOR JEFE:

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

EDITORA:

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

CORRECCIÓN:

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

CONSEJO EDITORIAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

M.Sc. Daniel López Aldama

CONSEJO ASESOR:

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

M.Sc. Alejandro Montesinos Larrosa.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

WEB MASTER:

M.Sc. Fernando González Prieto.



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: editora@cubasolar.cu

<http://www.cubasolar.cu>