

INVESTIGACIÓN LATINOAMERICANA EN COMPETITIVIDAD ORGANIZACIONAL

MONITOREO DE CONDICIÓN EN LAS TURBINAS DE VIENTO DEL PARQUE EÓLICO GIBARA II APLICANDO MÉTODOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Ms.C. Yorley Arbellá Feliciano¹

Dr. C. Carlos A. Trinchet Varela²

Ms.C. Camilo Mora Batista³

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Yorley Arbellá Feliciano, Carlos A. Trinchet Varela y Camilo Mora Batista (2021): "Monitoreo de condición en las turbinas de viento del parque eólico Gibara II aplicando métodos de la industria 4.0", Revista de Investigación latinoamericana en competitividad organizacional RILCO, n. 9 (febrero 2021). En línea:

<https://www.eumed.net/es/revistas/rilco/9-febrero21/turbinas-viento-parque>

Resumen:

Las tecnologías de las turbinas de viento (WT) en su gran mayoría son diseñadas y fabricadas por países ubicados en el hemisferio norte, bajo normas que se basan en condiciones climáticas típicas de los países productores. Actualmente el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín investiga la tropicalización de las WT instaladas en el Parque Eólico (PE) Gibara II. Para ello se ha realizado monitoreo de condición (MC), aplicando métodos de la Industria 4.0. Lo cual ha permitido dar pequeños pasos en el campo de investigación, y definir técnicas de Inteligencia Artificial (IA) como una alternativa para prevenir el problema del desgaste prematuro en sistemas de alta criticidad. Es eminente la necesidad que impone el tema producto del comportamiento técnico histórico que han presentado los equipos en estudio. La investigación dispuso de Big Data relacionadas con parámetros como temperatura de rodamientos, temperatura de aceite, generación eléctrica, temperatura en el devanado y condiciones climáticas que se registran y almacenan por el sistema de control y adquisición de datos (SCADA). Por el volumen de datos que se disponía se pudo aplicar técnicas de IA como redes neuronales (RNA), para definir modelos matemáticos ajustados que permitan optimizar, predecir, modificar y validar, patrones de comportamientos técnicos. Los valores del estado térmico predichos fueron contractados y validados utilizando la estadística de pronóstico y software de diseño e ingeniería asistida por computadora (CAD-CAE) como el SolidWorks versión 2016. Las teorías y postulados expuestos en el trabajo se sustentan en el estudio de 6 equipos.

¹ yorley.arbella@gmail.com Universidad "Oscar Lucero Moya" Holguín. Cuba

² carlos.trinchet@uho.edu.cu Universidad "Oscar Lucero Moya" Holguín. Cuba

³ narutokmy@gmail.com Universidad "Oscar Lucero Moya" Holguín. Cuba

Palabras clave: turbinas de viento; monitoreo de condición; Industria 4.0; temperatura

CONDITION MONITORING IN THE WIND TURBINES OF THE GIBARA II WIND FARM APPLYING METHODS OF INDUSTRY 4.0

Summary

The majority of wind turbine (WT) technologies are designed and manufactured by countries located in the northern hemisphere, under standards that are based on typical climatic conditions in producing countries. Currently, the Department of Mechanical Engineering of the University of Holguín is investigating the tropicalization of the WT installed in the Gibara II Wind Farm (PE). For this, condition monitoring (MC) has been carried out, applying Industry 4.0 methods. This has allowed taking small steps in the field of research, and defining Artificial Intelligence (AI) techniques as an alternative to prevent the problem of premature wear in highly critical systems. It is eminent the need imposed by the subject product of the historical technical behavior that the teams under study have presented. The research had Big Data related to parameters such as bearing temperature, oil temperature, electrical generation, temperature in the winding and climatic conditions that are recorded and stored by the control and data acquisition system (SCADA). Due to the volume of data available, AI techniques such as neural networks (RNA) could be applied to define adjusted mathematical models that allow optimizing, predicting, modifying and validating technical behavior patterns. The predicted thermal state values were contracted and validated using forecast statistics and computer-aided engineering and design software (CAD-CAE) such as SolidWorks version 2016. The theories and postulates presented in the work are based on the study of 6 teams.

Key words: wind turbine; condition monitoring; industry 4.0; temperature

Introducción

Según (Fernández, 2003; Fernandez, Mantz y Battatotto, 2003) “Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica ha sido desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV o V milenio antes de J.C.”

Los investigadores estiman que el aprovechamiento de la energía del viento ha sido un factor decisivo en el desarrollo de la humanidad, lo cual siempre se ha visto asociado al medio ambiente y las capacidades de quienes explotan tan vital recurso. Los siglos evidencian no haber mantenido un desarrollo continuo y constante producto de las posibilidades que brindaron en un momento los hidrocarburos.

Pero durante los últimos años, debido al incremento del costo de los combustibles fósiles, las predicciones del potencial de hidrocarburos y los problemas medioambientales derivados de su explotación, existe un renacer de las energías renovables, en particular la eólica, la cual (Antonio

Torres Valle, 2016) plantea ocupará, “un lugar importante en las próximas décadas, marcadas por el agotamiento de las fuentes de combustible fósil. En el escenario mundial las energías renovables tendrán cada vez mayor impacto”

Según (Zuppa, 2008) “Las Fuentes de Energía Renovable (FER) como la solar, eólica, hidráulica y las provenientes de los recursos energéticos de las biomásas son alternativa frente a los combustibles fósiles. La industria de grandes aerogeneradores (mayores a 100 kW de potencia) es la más dinámica entre las industrias productoras de grandes equipos para la generación eléctrica y dentro del conjunto de ramas industriales emergentes sólo es superada por la telefonía móvil”

En (Figueredo, 2015) se declara que “A mediados de los años 1980 se comenzó en Dinamarca un programa para eliminar la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, los programas de I&D comenzaron en 1976, un 10% de los fondos para las investigaciones energéticas fueron dedicados a la energía eólica. La Estación de Prueba de Turbinas Eólicas Riso fue creada en 1978 como proyecto piloto pagado por la Agencia Danesa de Energía. Así en 1983, se fabricaron 20 MW los que se exportaron. Ya en 1997 se exportaron 600 MW. ”

En el caso de Cuba tiene sus inicios en la generación eólica en marzo de 1999 con la “puesta en marcha del aerogenerador T7-10 en Cabo Cruz, provincia de Granma con una potencia nominal de 10 kW. Aunque no fue un parque eólico en sí, constituyó la primera y única máquina eólica construida en Cuba con más de 1 kW de potencia y conectada al Sistema Electro-energético Nacional (SEN)” (Larrosa y Figueredo, 2015). Posteriormente se crearon otras instalaciones como el Parque de Turiguanó, Los Canarreos y en el 2008 el PE experimental de Gibara I. Que fuera ampliado con tecnología Goldwind creándose lo que hoy se conoce como Gibara II, está emplazado en el municipio de Gibara, al norte de la provincia de Holguín, compuesto por 6 aerogeneradores modelo S50/750(60Hz) de 750 kW.

Según la Norma Cubana 220-3: 2009, en el Anexo B, donde se establecen los valores para las condiciones exteriores de proyecto. “En el territorio de Gibara en condiciones de verano, la temperatura de bulbo seco (TBS) por referencia será 32°C, combinada con una humedad relativa (HR) de un 70 %” (Cubana, 2009). Lo expuesto anteriormente y uniéndolo con los elevados niveles de salinidad que hay en el territorio se forma una combinación fatal que atenta contra la confiabilidad operacional de los equipos electromecánicos en explotación.

En el 2016 los especialistas del PE solicitaron al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín, asistencia técnica ante la aparición de averías inesperadas, relacionadas con rupturas en el sistema de freno y sobrecalentamientos en el aceite de la multiplicadora, cojinete del generador eléctrico y devanado del generador. Para ello facilitaron un grupo de materiales los cuales hicieron posible realizar monitoreo de condición en las WT del PE aplicando métodos de la Industria 4.0.

Metodología

Dentro de los materiales que dispuso la investigación, fueron representativos: la Norma Española compatible con la fabricación de los aerogeneradores en estudio, “UNE-EN 61400-1 Aerogeneradores Parte 1: Requisitos de diseño (IEC 61400-1: 2005)”(AENOR, 2006). Manual de automática de las WT Goldwind 750 kW, “Manual WP 3100”(Group, 2006). “Manuales de diseño,

montaje y mantenimiento de las WT en estudio”(Science&Technology, 2007; Goldwind Science & Technology Co. Ltd., 2008). Basados en el conocimiento proporcionado por los materiales bibliográficos se realizó un estudio sistémico, donde se identificaron los sistemas de mayor criticidad: sistema de frenos, generador eléctrico y caja multiplicadora.

En el PE, se disponía de un sistema de producción de energía eléctrica inteligente. Existiendo una automática de protección asociada a un Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA), que permite el vínculo entre las tecnologías físicas y digitales, integrando todo el proceso. Por lo antes expuesto los investigadores visualizaron la oportunidad de solucionar el problema basándose en los fundamentos de la Industria 4.0.

Para ello se realizó un seguimiento y análisis de datos monitoreados por agregados en tiempo real. Como existe una virtualización y se disponía de monitoreo remoto pudo haber constante retroalimentación y tormentas de ideas con los especialistas del PE. Lo cual permitió minimizar errores y hacer un trabajo más eficiente. Potenciando la descentralización de la información entre los investigadores de diferentes perfiles que convergieron en la tarea. Potenciando la modularización de las investigaciones por áreas del conocimiento. Las cuales emplearon Software como Microsoft Office, MATLAB 2017 y SolidWorks versión 2016, lo cual permitió llegar a los siguientes resultados.

Desarrollo del tema

Tras realizar el análisis de datos, aplicado minería de datos a la Big Data colectada se identificó la relación entre de las temperaturas promedios alcanzadas por los agregados monitoreados y la velocidad del viento. En la siguiente figura se muestran dos modelos matemáticos, para predecir temperaturas del devanado y del cojinete uno del generador eléctrico en función de la velocidad del viento.

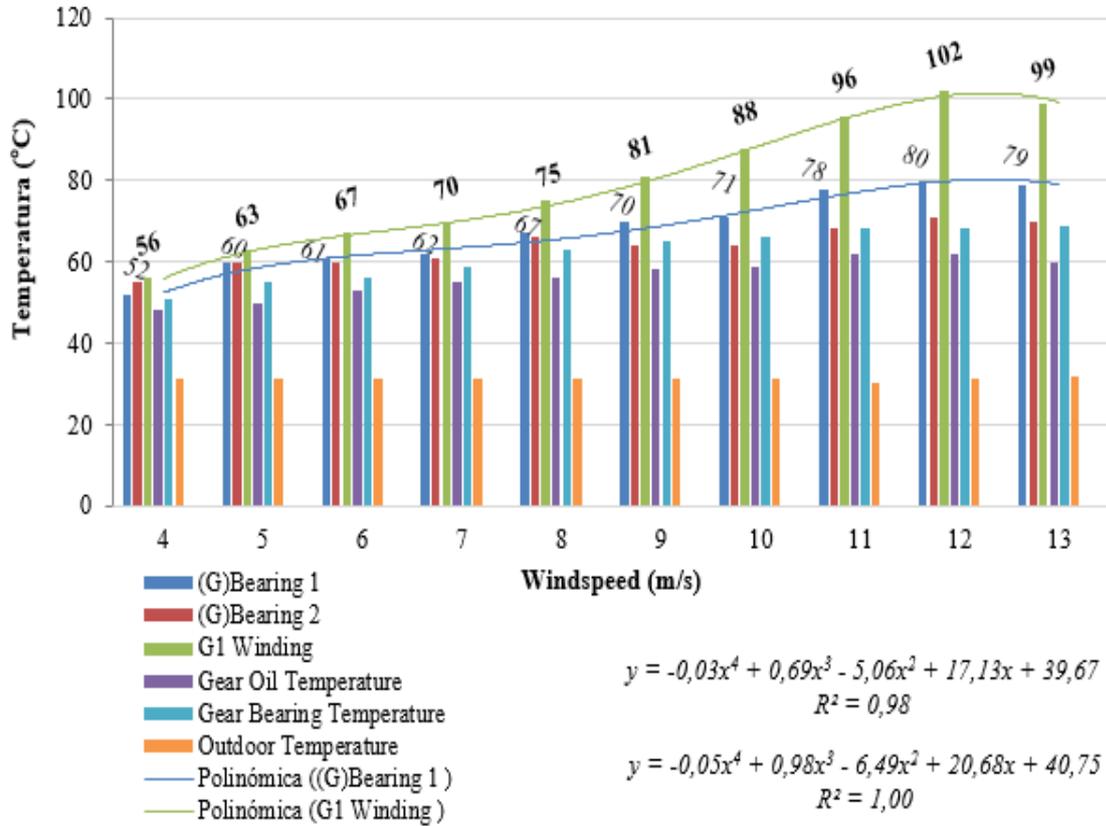


Figura 1. Análisis del comportamiento promedio de las temperaturas monitoreadas en las WT instaladas en el PE Gibara II.

En la figura anterior se muestra la proporcionalidad que existe entre las temperaturas del devanado (G1 Winding) y el cojinete número 1 ((G) Bearing 1), así como se muestran la relación entre la temperatura del aceite de la multiplicadora (Gear Oil) y la temperatura del rodamiento (Gear Bearing) de esta. Los modelos matemáticos obtenidos en base a polinomios de cuarto orden permiten monitorear y predecir el comportamiento promedio en el caso de las temperaturas del devanado y el cojinete número 1.

Durante el procesamiento de los datos, los investigadores percibieron que la aleatoriedad del viento, hacía difícil predecir mediante métodos estadísticos, el comportamiento de las variables críticas identificadas para el funcionamiento de las WT. Por lo cual se aplicaron técnicas de IA como RNA, para determinar patrones de comportamientos y facilitar el monitoreo de condición. La configuración de la red y su entrenamiento se realizó utilizando un algoritmo que de forma automática va seleccionando varias configuraciones para la red (modifica el número de capas ocultas y las neuronas que las componen, así como las funciones de transferencia de cada capa), esto permitió obtener un número significativo de redes que lograban modelar el problema y de ellas seleccionar una; la más sencilla posible; que dieran buenos resultados en el ajuste. La topología seleccionada se presenta en la figura 2.

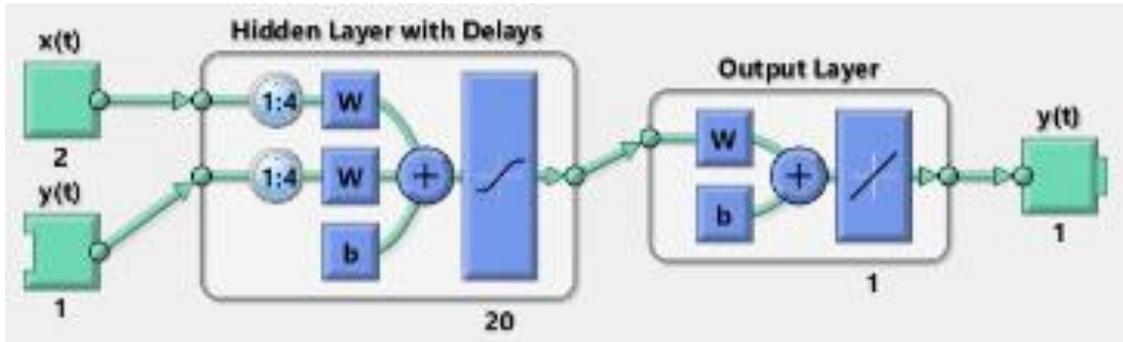


Figura 2. Arquitectura de la RNA para el estudio y determinar patrones de temperaturas en WT Goldwind S50/750.

Como variables de entrada a la RNA se definieron la velocidad del viento en metros/segundo y las temperaturas de la caja multiplicadora, devanado, cojinete número dos del generador, temperatura ambiente, temperatura del cojinete de la caja multiplicadora y generación eléctrica; como variable de salida la temperaturas del cojinete número uno del generador.

Para el entrenamiento de la Red se utilizó la función Levenberg-Marquardt con propagación hacia atrás y los datos se dividieron en un 70 % para el entrenamiento, un 15 % para la validación y en otro 15 % fueron utilizados como prueba. Para el primer caso se obtuvo una regresión (R) de 0,995, la validación logró una regresión de 0,994 mientras en los datos utilizados como prueba fue de 0,994. De forma general la RNA arrojó un excelente resultado en el ajuste obteniendo un valor de R de 0,995 como se muestra en la Figura 2. Con la investigación se pudieron determinar los coeficientes de correlación (R) entre los valores de las mediciones reales y los valores estimados por la red para el entrenamiento, la prueba y la validación se pueden apreciar en la siguiente figura.

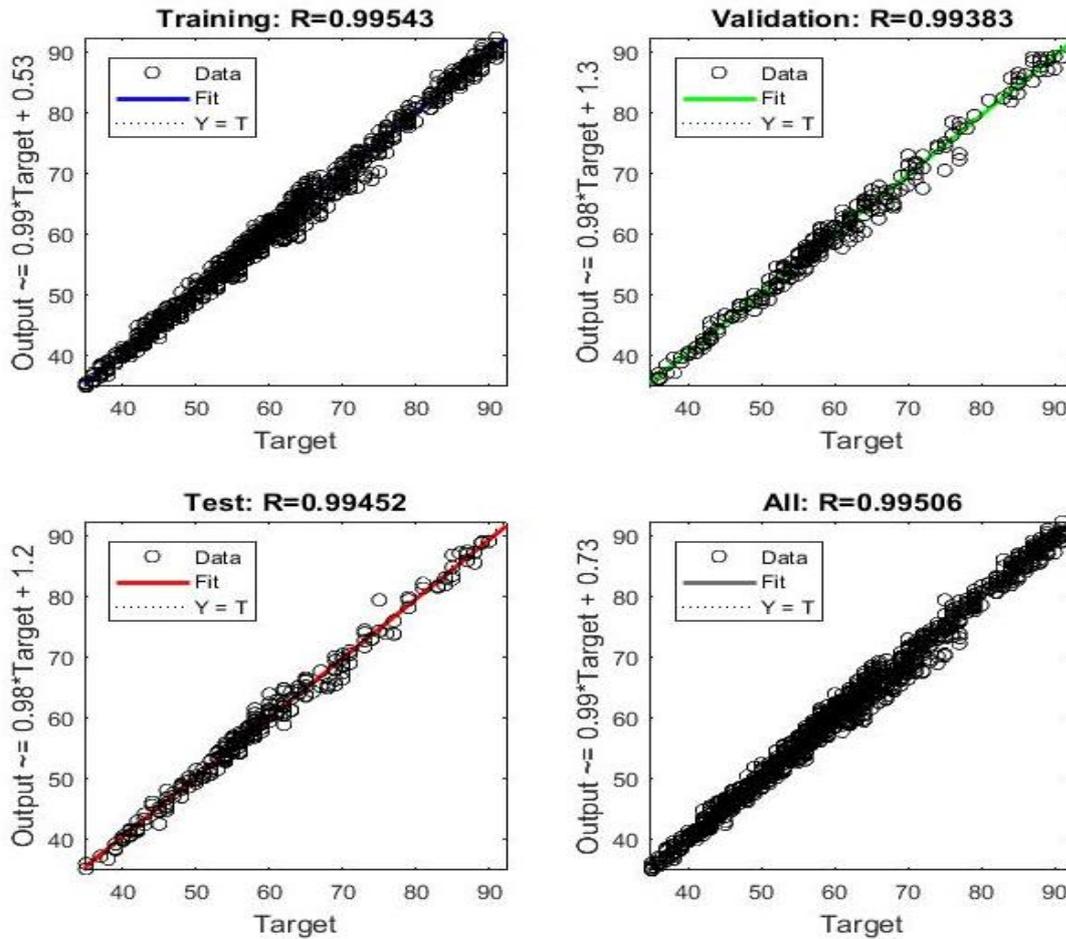


Figura 2. Resultados de los estudios pruebas y validaciones obtenidos mediante la aplicación de RNA para el estudio de temperaturas en WT Goldwind S50/750.

Como puede notarse la Red logra realizar una predicción muy cercana a los valores reales, lo cual demuestra la utilidad del modelo de RNA obtenido. Dado que la investigación alcanzó modelos predictivos para monitorear comportamientos de las temperaturas se procedió a contrastar el comportamiento teórico predicho con el comportamiento real y realizar simulaciones futuras de tendencias, para ello se desarrollaron gemelos digitales de las WT en estudio, empleando software CAD-CAE como el SolidWorks versión 2016 y el complemento Flow Simulation. Obteniendo resultados como los mostrados en la siguiente figura. Donde se muestra el monitoreo de condición predictivo basado en estudio que emplean la dinámica computacional de fluidos (CFD). En la siguiente figura se muestran posibles comportamientos de temperaturas en el interior de la góndola de las WT y en componentes que la integran.

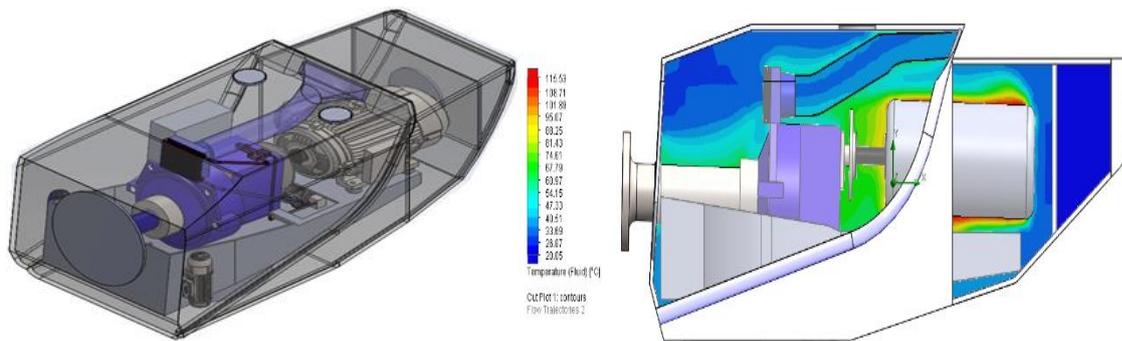


Figura 3. Resultados de las modelaciones CAD y simulaciones CAE, basadas en CFD para el MC de temperaturas en WT Goldwind S50/750 aplicando gemelos digitales.

De esa manera concluye la integración de métodos de la Industria 4.0 que se han empleado en la investigación para MC de temperaturas en WT Goldwind S50/750 instaladas en el PE Gibara II. Dando lugar a soluciones técnicas organizativas en el mantenimiento y reacondicionamiento de sistemas como: el sistema de enfriamiento y el sistema automático, lo que dio lugar a las siguientes conclusiones.

Conclusiones

1. Cuando se combinan métodos de la Industria 4.0 como Sistemas SCADA, Big Data, Estadística, IA y las herramientas CAD-CAE, se pueden obtener validaciones y criterios técnicos fiables y factibles para el MC en WT.
2. Los modelos matemáticos basados en polinomios de cuarto orden son una representación ajustada del comportamiento promedio de las temperaturas en el devanado y cojinete número uno del generador, frente a la velocidad del viento.
3. Si una vez obtenidos los modelos matemáticos basados en RNA, se simulan en gemelos digitales de las tecnologías o procesos estudiados, se podrán organizar de manera oportuna decisiones y trabajos en el mantenimiento, no previstos en las cartas tecnológicas del mantenimiento preventivo propuestas por el fabricante.

Referencias bibliográficas

- AENOR. (2006). Aerogeneradores Parte 1: Requisitos de diseño (IEC 61400-1:2005): Editada e impresa por AENOR Deposito legal: M 28830:2006.
- Antonio Torres Valle, Msc. Erich Martínez Martín. (2016). Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2.
- Cubana, Norma. (2009). NC 220-3: 2009 Edificaciones-Requisitos de Diseño para la Eficiencia Energética-Parte 3: Sistemas y Equipamiento de Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado (pp. 35): Oficina Nacional de Normalización.
- Fernández, Pedro. (2003). Energía eólica.
- Fernandez, RD, Mantz, RJ y Battatotto, PE. (2003). Sliding mode control for efficiency optimization of wind electrical pumping systems. Wind Energy: An International Journal for Progress and Applications in Wind Power Conversion Technology, 6 (2), 161-178, ISSN: 1095-4244.

- Figueredo, Dr. Conrado Moreno. (2015, 27 de mayo 2015). Estado actual y perspectivas de la energía eólica. Artículo presentado en VIII Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética, Palacio de Convenciones de La Habana Cuba.
- Goldwind Science & Technology Co. Ltd., Xinjiang (2008). Goldwind S50/750 Wind Turbine Generator System Operation and Maintenance Manual for Cuba Project (50 m High 3-section Tower in IEC Wind Class IIA, 60Hz)
- Group, Mita-Teknik A/S: Application Software (Ed.). (2006). Goldwind 750 kW Project number: P04529.
- Larrosa, Alejandro Montesinos y Figueredo, Conrado Moreno. (2015). Huracanes y parques eólico en Cuba. Consultado: 6 de Enero, 2017, Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/>
- Science&Technology, Goldwind. (2007). Goldwind S50/750 Wind Turbine Technical parameters and Product description(60Hz) sección de título (Vol. Q/JF 2CP50/750.2-2007). China: LTD Industry Standard.
- Zuppa, Alberto Cardona. Mario Estorti. Carlos. (2008). Comportamiento aerodinámico y aeroelástico de aerogeneradores. Disponible en: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/1435/1400>