

## Mejoras a la disponibilidad técnica en parques eólicos

Carlos Alberto Trinchet Varela<sup>1</sup>

Yorley Arbella Feliciano<sup>2</sup>

Liuber Batista Díaz<sup>3</sup>

### RESUMEN

Desarrollar acciones de diagnóstico e intervenciones técnicas que favorezcan la disponibilidad de los aerogeneradores, constituye el objetivo del proyecto nacional auspiciado por el Ministerio de Energías y Minas, ejecutado en el periodo 2017-2020. Realizado por un grupo de investigadores de la Universidad de Holguín y el Parque Eólico de Gibara, Cuba. Se enfoca en aprovechar las posibilidades tecnológicas; así como la información de O&M disponible en diversos programas informáticos y en el SCADA, para emplear técnicas de la fiabilidad, indicadores y modelos de simulación mediante herramientas CAD/CAE y CFD, que contribuyen al diagnóstico y para verificar las acciones de mejoras. Se exponen los principales resultados de ciencia e innovación, numerosas tesis en pregrado y postgrado. De igual manera se publicaron y expusieron en revistas de alto impacto y eventos internacionales. Dentro de las contribuciones se destacan cinco tareas técnicas preventivas realizadas en los aerogeneradores, las cuales incrementaron su disponibilidad y en consecuencia la generación eléctrica.

**PALABRAS CLAVE:** energías renovables, parque eólico, SCADA, CAD/CAE/CFD

### Improvements to technical availability in wind farms

### ABSTRACT

Developing diagnostic actions and technical interventions that favor the availability of wind turbines is the objective of the national project sponsored by the Ministry of Energy and Mines, executed in the 2017-2020 period. Carried out by a group of researchers from the University of Holguín and the Gibara Wind Farm, Cuba. It focuses on taking advantage of technological possibilities; as well as the O&M information available in various computer programs and in SCADA, to use reliability techniques, indicators and simulation models using CAD/CAE and CFD tools, which contribute to diagnosis and to verify improvement actions. The main results of science and innovation, numerous theses in undergraduate and postgraduate are exposed. In the same way, they were published and

---

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín, Cuba. E.mail: [carlostrinchet592@gmail.com](mailto:carlostrinchet592@gmail.com)

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín, Cuba. E.mail: [yarbellaf@uho.edu.cu](mailto:yarbellaf@uho.edu.cu)

<sup>3</sup>Máster en Ciencias. Empresa Eléctrica Holguín, Cuba. E.mail: [liuber@elechol.une.cu](mailto:liuber@elechol.une.cu)

exhibited in high-impact magazines and international events. Among the contributions, five preventive technical tasks carried out in the wind turbines stand out, which increased their availability and consequently the generation of electricity.

**KEYWORDS:** renewable Energy Sources; wind farm, SCADA, CAD/CAE/CFD

## INTRODUCCIÓN

El empleo de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) constituye una necesidad impostergable para la humanidad, ante el evidente deterioro ambiental y las limitaciones de energía convencional. El uso de la energía eólica se puede considerar como una tecnología madura en la generación de electricidad, la cual progresa en todos los continentes de manera vertiginosa junto a la solar, la hidráulica y la biomasa. Las que aprovechan las energías del mar aún se encuentran en proceso de consolidación (del Cristo, 2021).

La energía eólica se caracteriza por las dimensiones de las unidades individuales, la dependencia del viento, su impacto visual y ambiental moderado, así como las exigencias a las redes de transmisión considerando el carácter aleatorio de la generación (Wen, X., & Xie, M., 2020).

Constituyen las aplicaciones de más rápido crecimiento en la industria de energía renovable. La estructura de los aerogeneradores es compleja y su fiabilidad se convierte en un tema importante. (Yang, Y., *et.al*, 2019). Se trata de estar siempre disponible, para cuando exista el potencial eólico generar.

La República de Cuba establece como política estatal el desarrollo de las FRE en el 2005. En octubre del 2008 entra en funcionamiento el Parque Eólico de Gibara 1, en la provincia de Holguín, en el 2010 el Gibara 2. De esta forma se alcanza en el Parque Eólico de Gibara (PEG) una capacidad total de generación nominal de 9,6 MW.

Pese a que se ha generalizado el empleo de las FRE, en algunos casos no se dispone de tecnologías, procedimientos y métodos adaptados a nuestro contexto insular. Fue establecido un Proyecto Nacional, durante los años 2017-2021 denominado Centro de Gestión de Tecnologías que emplean las FRE desarrollado por el Centro de Estudios CAD/CAM y el Departamento de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Holguín (UHo). El objetivo general del proyecto es: crear un Centro de Gestión para el desarrollo y/o mejora de tecnologías para el aprovechamiento de las FRE fundamentalmente la eólica.

El objetivo de la presente investigación es exponer los principales resultados obtenidos en el ámbito docente, investigativo y tecnológico teniendo como centro de introducción el PEG. En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica del PEG.

Figura 1.

Ubicación geográfica del Parque Eólico Gibara 2.



Fuente: Arbella, et.al., 2021

## METODOLOGÍA

Mediante entrevistas a personas claves, expertos, revisiones de la documentación de O&M y el análisis bibliométrico, se identifican los principales problemas que afectan la disponibilidad técnica del PEG. Se insertan como temas de investigación en los programas de ingeniería mecánica, maestrías de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD/CAM); así como en Mantenimiento y Reacondicionamiento de Máquinas (MRCM), también en el doctorado tutelar de Ingeniería Mecánica, todos de la Facultad de Ingeniería de la UHo.

Se parte del enfoque multidisciplinario. Se emplean métodos de optimización de tecnologías, procesos, componentes mediante los sistemas de ingeniería; las herramientas del diseño, manufactura, simulación y planificación de procesos asistidos por computadoras (sistemas CAD/CAM por sus siglas en inglés); así como la inteligencia artificial y las metaheurísticas. Se analizan y procesan los datos del PEG del sistema SCADA correspondientes a los años 2015 al 2021; así como de la O&M.

El análisis bibliométrico se desarrolla en cuatro bases de datos científicas: Scopus, Dimensions, Lends.org, e IEEE Xplore. Los descriptores temáticos “turbinas de viento” AND “mantenimiento” fueron empleados para la búsqueda en el título, resumen y palabras clave de artículos de investigación como tipo de documento, obteniendo un total de 3 230 investigaciones.

Posteriormente en dependencia de los intereses de las investigaciones desarrolladas se incorporan “temperatura”, “sistemas de enfriamiento”, “lubricación” y “CFD”, entre otras. Ello permite estratificar las investigaciones, autores y centros de investigación de referencia, así como las principales tendencias en la solución de los problemas identificados.

## RESULTADOS

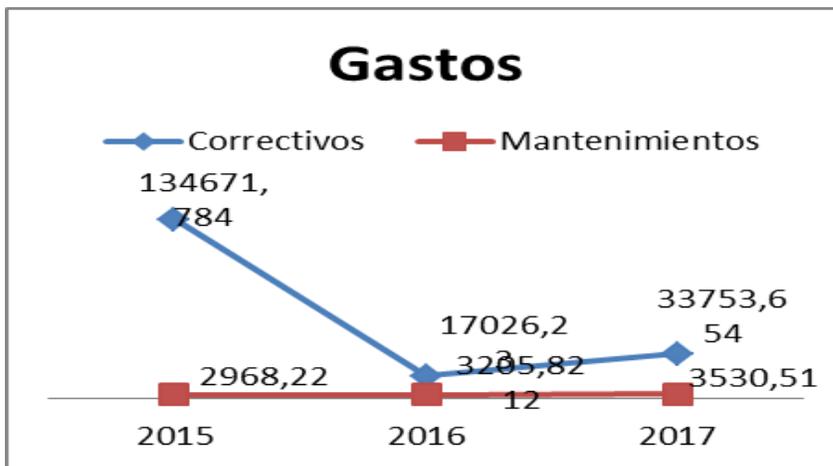
Se identifican como principales dificultades en el funcionamiento del PEG, que estas máquinas se afectan por las condiciones de trabajo extremas, relacionadas con la posición insular de Cuba, altas temperaturas, salinidad, humedad relativa y en consecuencia corrosión, unido a la acción frecuente de vientos extremos por tormentas y ciclones tropicales. Esto provoca que después de varios años de explotación; sea baja la fiabilidad de los aerogeneradores Gamesa del PEG1 y Goldwind S-50 del PEG2 y su generación se encuentra por debajo de la establecida, se aprecia un deterioro prematuro que conspira contra la vida útil de sus componentes. (Batista, 2020 y Pérez, 2020). Se han definido como principales inconvenientes:

- La información disponible mediante el sistema SCADA es insuficiente para el monitoreo del estado técnico del aerogenerador y no se interpreta adecuadamente; surgen fallas imprevistas.
- Se han incrementado las acciones correctivas, en ocasiones los tiempos de suministros de agregados y piezas es elevado provocando una significativa afectación a la disponibilidad técnica.

En la figura 2 se muestra los gastos por tipos de mantenimiento.

Figura 2.

Gastos por tipos de mantenimientos



Fuente: Batista, 2020

Para la solución de estos problemas y otros relacionados con los objetivos del proyecto, se desarrollaron exitosamente, 15 tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica, en las Maestrías en CAD-CAM, cinco y cuatro en Mantenimiento y Reacondicionamiento de Máquinas. Se insertaron en

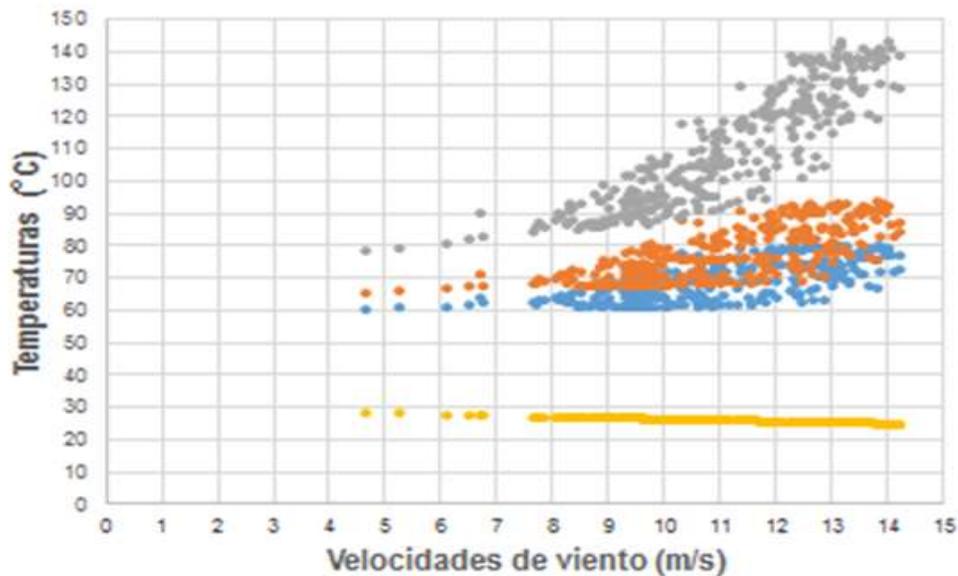
el proyecto seis doctorantes como tutores de tesis, acelerando su proceso investigativo y la producción científica.

A continuación, se resumen inicialmente las que de manera individual realizan alguna contribución al mantenimiento del PEG y, por último, la tesis de maestría que integra algunas de estas contribuciones, desarrolla otras y las aplica (Batista, 2021). No es incluida la tesis doctoral (Arbella Feliciano, 2022) que, por su novedad, alcance y utilidad será objeto de otra publicación.

La investigación de (Pérez, 2020) tiene como objetivo a partir de las 31 variables que registra el SCADA, determinar las variables críticas para el diagnóstico en los AG Gamesa G52-850 del PEG 1. Desarrolla un procedimiento que se apoya en un análisis sistémico y en la estadística empleando el análisis multivariable, mediante el software STATGRAPHICS Centurión-estadística, Se establecen las variables que permiten el diagnóstico técnico, siendo las temperaturas del aceite de la multiplicadora y el devanado del generador, así como de los cojinetes de la multiplicadora, acoplamiento del generador y su cojinete. En las figuras 3a y 3b se exhiben los principales resultados.

Figura 3a

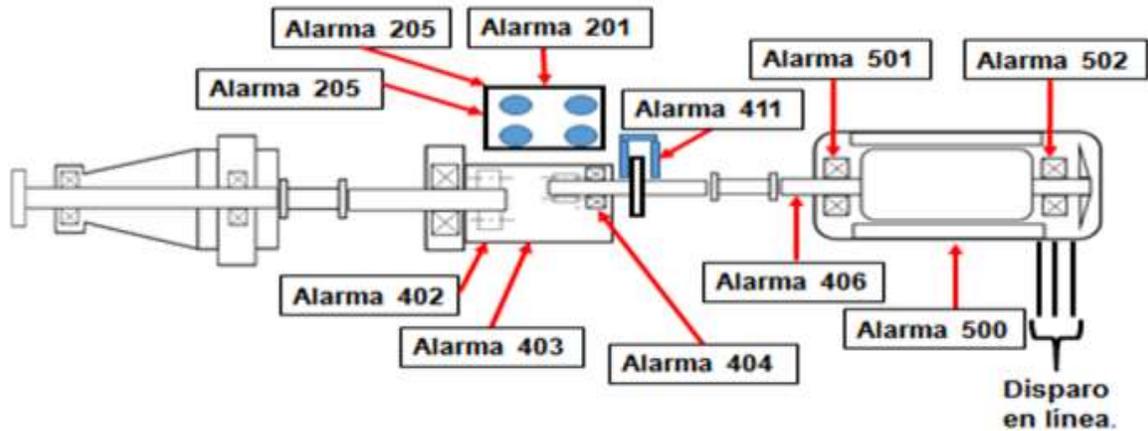
Comportamiento de las temperaturas en el AG respecto a la velocidad del viento



Fuente: (Pérez, 2020)

Figura 3b

Definición de las resistencias térmicas que permiten monitorizar los componentes críticos

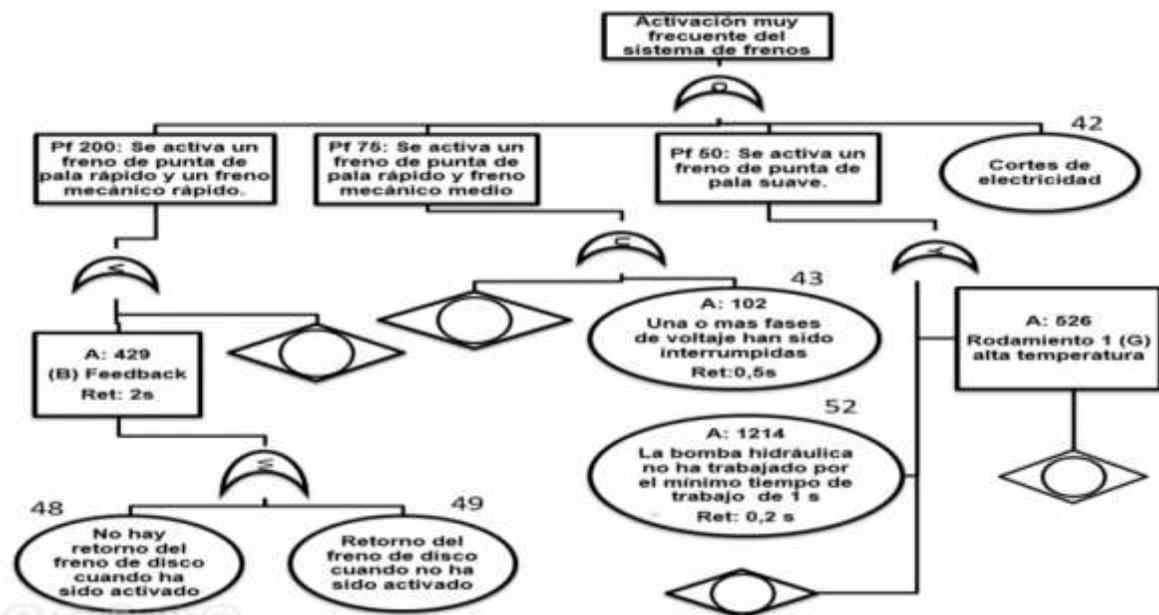


Fuente: (Pérez, 2020)

Conocidas las variables de diagnóstico y establecido el sistema informativo correspondiente de la O&M, se dirigieron los proyectos de curso y tesis de pregrado de Ingeniería Mecánica, a emplear métodos de control de la fiabilidad, la calidad y los riesgos que permitan esclarecer las fallas, sus causas, modos y consecuencias. En esa idea (Torres, 2019) aplica el método de análisis del árbol de fallos (AAF), en la caja multiplicadora de los AG Goldwind S50/750 (figura 4). Se fundamenta y valida el análisis para determinar los principales fallos y sus causas. Basado en las descripciones para la explotación, los datos de O&M, así como los criterios de expertos se confeccionó la carta de causas y soluciones de las fallas de la caja multiplicadora.

Figura 4

AAF cualitativo de la activación muy frecuente del sistema de frenos



Fuente: (Torres, 2019)

Otros trabajos de grado (TG) fueron los de Meléndez, (2019); Zamora, (2019); Hechavarría, (2019); Córdova, (2019); así como en las maestrías (TM) correspondientes a García, (2020). A continuación, se muestran de manera sintetizada sus resultados.

Tabla. 1

Principales resultados obtenidos en investigaciones de grado y postgrado

Objetivos	Análisis teórico	Resultado práctico
TG. Comportamiento térmico en el interior de la góndola de los aerogeneradores Goldwind modelos S50-750. (Menéndez, 2019)	Diagnóstico de fallos incipientes producto de las altas temperaturas.	Método que emplea herramientas CAD -CAE)
TG. Modelo predictivo basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA), AG Goldwind modelo S50/750, (Zamora, 2019)	RNA con empleo del asistente matemático MatLab.	Modelo predictivo para determinar patrones de fallos en el sistema de enfriamiento v.1
TG. Análisis de Criticidad (AC) en el sistema hidráulico AG Goldwind (Córdova, 2019)	Método para AC	Componentes críticos, impactos económico, técnico y ambiental.
TG. Ingeniería de software para la gestión del mantenimiento de los AG del PEG (Hechavarría, 2019)	Diseño conceptual del software	Sistema Informativo O&M
TM. Redes Bayesianas (RB) para predecir	Modelo RB con empleo	Predicción alarmas por

alarmas AG (García, 2020)	IA para predecir alarmas	elevadas temperaturas AG
TM. Confiabilidad Operacional (CO) de AG Gamesa PEG1 (Turuellas, 2021)	Procedimiento para determinar la CO PEG1	Parámetros CO

Finalmente se expone la investigación “Procedimiento para mejorar la gestión del mantenimiento de los aerogeneradores S-50 del Parque Eólico Gibara 2”, (Batista, 2020), en este trabajo se introducen en la práctica algunos de los resultados alcanzados en las investigaciones anteriormente expuestas y se desarrollan otras tareas técnicas.

El trabajo se enfoca en el análisis de la gestión del mantenimiento, para proponer cambios que contribuyan a mejorar su funcionamiento. El mantenimiento implantado Preventivo Planificado, tiene resultados aceptables, pero, con márgenes importantes de mejora. Se aplican diversos métodos de investigación y diagnóstico, es diseñado un sistema de registro de la información de la O&M que permita evaluar el desempeño mediante indicadores. Se definen los sistemas y componentes críticos con mayor impacto en la disponibilidad técnica y los costos. En la figura 5 se expone el procedimiento desarrollado.

Figura 5

Procedimiento para evaluar el funcionamiento PEG1



Se determina que el sistema propuesto por el fabricante es insuficiente. Al integrar métodos de análisis tales como: Pareto (figura 6), Criticidad y Modo y Efecto de Fallas se establecieron como

elementos más críticos el cable de punta de pala del sistema del rotor, así como los bloques de freno de orientación y de freno 2, del sistema hidráulico. Se identificaron diez causas correspondientes a los tres elementos más críticos, fueron evaluadas 29 medidas técnicas preventivas, que corrigen o mitigan los defectos (figura 7).

Figura 6.

Análisis de Pareto a los fallos de los sistemas del AG.

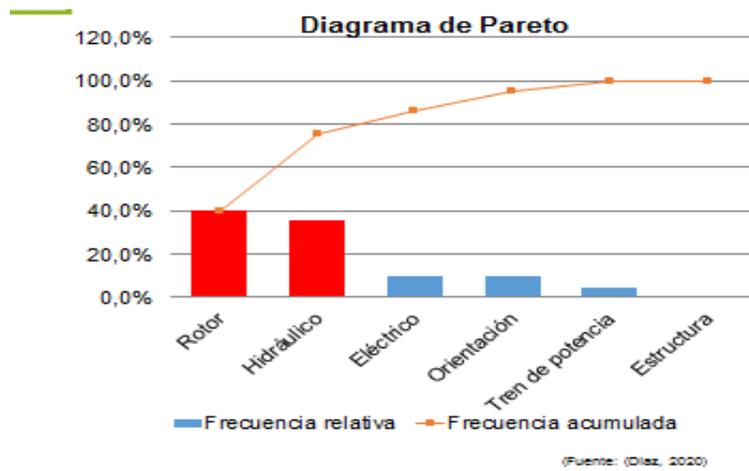


Figura 7.

Propuestas de cambios al sistema de mantenimiento.

Sistemas	Sub-sistemas	Medidas técnicas
<b>Rotor</b>	Freno aerodinámico	Sustituir cable preventivamente en caso de daño significativo. Revisar el acoplamiento motor-bomba. Revisar el funcionamiento de la electroválvula 290.
	Grupo hidráulico	Comprobar la presión de los acumuladores 130 y 260. Rellenar de ser necesario. Verificar los sensores de presión 110 y 240. Comprobar ajuste de la válvula de sobreflujo 160. Reajustar la posición de las pastillas de freno.
<b>Hidráulico</b>	Freno del eje rápido	Revisar y limpiar las levas de los bloques de freno. Revisar funcionamiento de los microinterruptores. Buscar fugas en las zapatas de freno. Verificar que no haya ruido mientras se orienta.
	Freno de la orientación	Buscar fugas en las zapatas de freno. Comprobar presión mientras se orienta.
	Hidráulica de punta de pala	Revisar la sujeción del pistón hidráulico. Buscar fuga en el pistón. Medir presión en el pistón.

Fuente: (Batista, 2020)

## DISCUSIÓN

Las estrategias pedagógicas aplicadas, enfocadas en la enseñanza de la ingeniería mecánica en este contexto de las herramientas CAD/CAM (Trinchet, C, *et al*, 2018) y (Pérez, R. *et al*, 2018), han permitido establecer métodos especializados en el pre y postgrado. Al demostrar el efecto del viento extremo en la pala mediante métodos de simulación numérica, se fundamentan las medidas a tomar por parte del personal técnico del del PEG ante tormentas y ciclones (Limas, 2017).

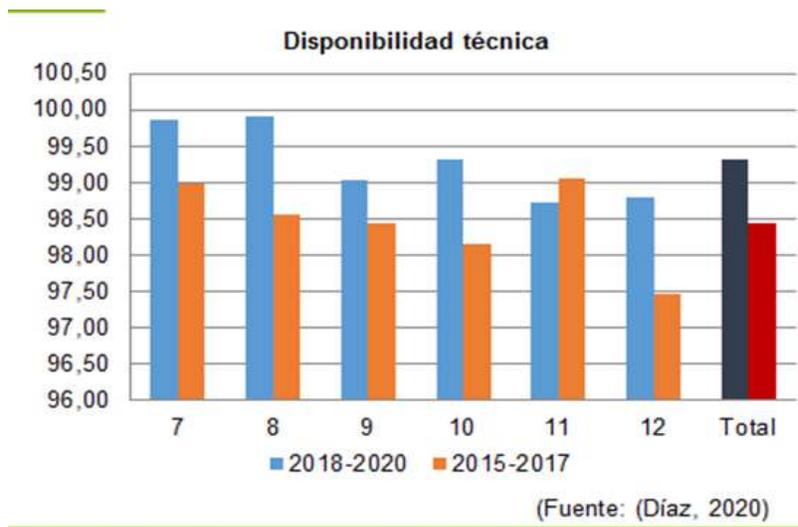
Al amparo del convenio de trabajo entre la UHo y el PEG se prepararon especialistas del territorio y los resultados obtenidos en el resto de las investigaciones se introducen como tareas técnicas en el PEG. Los trabajos teóricos desarrollados, fundamentaron las acciones técnicas.

Se evalúan que en el PEG 2 mejoran, la disponibilidad técnica de 98.44 % hasta 99.31 % y la tasa de fallos de 0.034 averías/día a 0.026 averías/día.

El procedimiento favorece la gestión del mantenimiento de los aerogeneradores S-50 del Parque Eólico Gibara 2. En la figura 8 se puede apreciar el impacto en uno de los indicadores fundamentales, la Disponibilidad Técnica, el cual repercute en la generación eléctrica e impacto ambiental.

Figura 8.

Comportamiento de la disponibilidad Técnica antes y después de la intervención



## CONCLUSIÓN

El proyecto nacional auspiciado por el Ministerio de Energías y Minas, ejecutado en el periodo 2017-2020 permitió integrar el potencial científico y tecnológico de la Universidad de Holguín y de las principales empresas del territorio. Presenta resultados en el campo académico, docente y de la innovación, aplicados en el PEG. Las acciones de diagnóstico e intervenciones técnicas

desarrolladas tienen un impacto favorable en la disponibilidad técnica, los costos y el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- Arbella, Y; Trinchet, C.A; Vargas Guativas, J. A; Lorente Leyva, L. L; Peluffo-Ordóñez D. H. (2021). Evaluation of Working Temperature in Wind Turbine Bearings by Simulation of Lubricant Level. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 16, 99-104. <http://doi.org/10.18280/ijdne.160113>.
- Batista, L. (2020). Procedimiento para mejorar la gestión del mantenimiento de los aerogeneradores S-50 del Parque Eólico Gibara 2. Tesis de Maestría MRCM. UHo.
- Córdova, L. (2019). Análisis de criticidad en el sistema hidráulico de los aerogeneradores Goldwind S50/750 del Parque Eólico Gibara II. Tesis de Grado, UHo.
- Del Cristo, R. (2021). Evaluación de potencialidades de Planta Convertora de Temperaturas Marinas. Tesis de Grado, UHo.
- García, R. (2020). Empleo de redes bayesianas para predecir alarmas en aerogeneradores. Tesis Maestría CAD/CAM. UHo.
- Hechavarría, J. (2019). Diseño conceptual de un software de gestión del mantenimiento del parque Eólico Gibara II. Tesis de Grado, UHo.
- Limas, P. (2017). Evaluación numérica del estado tensional-deformacional de la pala en el aerogenerador Gamesa G52/850 durante la acción del viento extremo. Tesis de Maestría CAD/CAM. UHo, 2017.
- Limas, P., Trinchet, C.A., Almaguer, P., Vargas, J., Isaza, L. (2019). Numerical evaluation of de tensional- deformational state of de blade in the Gamesa G52/850 wind turbine during the action of extreme wind. *Journal Engineering and Applied Sciences* 14(10): 3371-3377, 2019, ISSN: 816-949X, Medwell Journals, 2019.
- Meléndez, E. (2019). Simulación mediante herramientas CAD-CAE del comportamiento térmico en los aerogeneradores Goldwind S50/750 del Parque Eólico Gibara II. Tesis de Grado, UHo.
- Pérez Rodríguez, Roberto; Estrada Cingualbres, R; Trinchet Varela, C. (2018). El Centro de Estudios CAD/CAM y la gestión de ciencia, tecnología e innovación. Libro Ciencia e Innovación Tecnológica vol. II, coedición Editorial Académica Universitaria Opuntia Brava, Capítulo Ciencias Técnicas, ISBN 978-959-7225-34-8, Colombia.
- Pérez, P. (2020). Determinación de variables determinantes para el diagnóstico de los aerogeneradores del Parque Eólico Gibara 1 a partir de datos SCADA. Maestría en CAD/CAM. UHo, 2017.
- Torres, R. (2019). Evaluación de las causas de fallas y sus soluciones, en la caja multiplicadora del aerogenerador Goldwind S50/750 mediante el análisis del árbol de fallos. Tesis de grado. UHo.

- Trinchet Varela, C. de la Rosa Melián, J. E. Vargas Guativa. J. (2018). La modelación de procesos en las ciencias técnicas. Un procedimiento para su elaboración. Libro Ciencia e Innovación Tecnológica vol. II, coedición Editorial Académica Universitaria Opuntia Brava, Capítulo Ciencias Técnicas, ISBN 978-959-7225-34-8, Colombia.
- Yang, Y., Li, H., Yao, J., Gao, W., & Peng, H. (2019). Analysis on the Force and Life of Gearbox in Double-RotorWind Turbine. *Energies*. <http://doi.org/10.3390/en12214220>.
- Zamora, E. (2019). Evaluacion del trabajo de los aerogeneradores Goldwind S50/750 del Parque Eólico Gibara li, mediante redes neuronales. Tesis de Grado, UHo.
- Wen, X., & Xie, M. (2020). Performance evaluation of wind turbines based on SCADA data [Article]. *Wind Engineering*. <http://doi.org/10.1177/0309524X20968935>.