

# PATRONES DE TEMPERATURAS EN EL GENERADOR ELECTRICO DE LOS AEROGENERADORES GOLDWIND INSTALADOS EN EL PARQUE EÓLICO GIBARA 2

Yorley Arbella Feliciano<sup>1</sup>, Carlos A. Trinchet Varela<sup>1</sup>, Javier A. Vargas Guativa<sup>2</sup>,  
Fernando Riveros<sup>2</sup>, Lauren Isaza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Holguín, Departamento Ingeniería Mecánica. Cuba

<sup>2</sup> Universidad de los Llanos. Colombia

<sup>3</sup> Universidad Santo Tomas, Villavicencio

yorley.arbella@gmail.com

**Resumen.** Desde hace varios años los aerogeneradores resultan una fuente de generación de energía eléctrica muy potenciada. Para Cuba constituye una solución energética, mediante la cual aprovecha sus potencialidades climáticas y sustituye importaciones por concepto de ahorro en combustibles fósiles. Razón que motivó el desarrollo de la instalación Parque Eólico (PE) Gibara II. La instalación dispone de seis aerogeneradores Goldwind modelo S50/750, con generadores eléctricos asincrónicos y capacidad de generación por equipo de 750 kW. Por ser una tecnología diseñada y fabricada por países ubicados en el Hemisferio Norte; bajo normas climáticas de diseño, típicas de los países productores, durante su explotación han presentado problemas técnicos asociados con las temperaturas del generador, no contemplados por los inversionistas y constructores del PE. Para desarrollar la necesaria tropicalización de los aerogeneradores a las condiciones de explotación, constituye un requisito conocer los patrones de temperatura del generador. Por lo cual, hace varios años investigadores de la Universidad de los Llanos Orientales en Colombia y profesores de la Universidad de Holguín investigan el tema. Para ello se han realizado monitoreo de condición (MC) basado en las Big Datas adquiridas con el sistema de control y adquisición de datos (SCADA). Posibilitando la obtención de modelos matemáticos que caracterizan estados funcionales del generador, basados en regresión polinómica. Ante la eminente necesidad que imponía el tema para prevenir fallas funcionales, se introdujeron los resultados en el control de parámetros como temperaturas de rodamientos y el devanado, posibilitando mediante acciones técnicas reducir la frecuencia de fallas.

**Palabras clave:** Patrones; SCADA; temperatura; generador; aerogeneradores.

## 1. INTRODUCCIÓN

“La energía eólica, como energía renovable para enfrentar el desafío del cambio climático global, tiene logrado un rápido desarrollo en los últimos años” [1]. En Cuba

igual que en muchos países del mundo se ha apostado por ese tipo de energía. Potenciando la implementación y estudios de esas tecnologías. La presente investigación nace con la solicitud de asistencia técnica por los especialistas del PE a investigadores de la Universidad de Holguín, ante un deterioro prematuro de los aerogeneradores Goldwind instalados en Gibara II. Por investigaciones anteriores [2, 3], se pudo conocer como una causa de alta influencia en el estado técnico de los equipos en estudio, eran las temperaturas que se producen en el interior de la góndola. Dentro de las que sobresalen, las producidas por el generador eléctrico. Razón que motivó investigaciones para determinar patrones de comportamientos correspondientes a la relación entre velocidad del viento, generación eléctrica y temperaturas monitoreadas en el generador. Según [4] “Los patrones de fallos permiten aplicar una novedosa política de mantenimiento con un nuevo enfoque preventivo–predictivo y evaluar cualitativamente la evolución de los fallos.”

Investigaciones precedentes en el campo de estudio evidencian “los modelos tradicionales basados en la tendencia de la temperatura no pueden controlar exhaustivamente la condición de la turbina eólica” [5]. Por ello los patrones perseguidos profundizan en el mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento basado en la condición (Condition Based Monitoring/Maintenance, CBM).

El CBM, se debe realizar “siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento. Este mantenimiento incluye la monitorización de la condición de forma continua o discontinua. Este tipo de mantenimiento es una metodología de trabajo que basa sus actuaciones en la evolución de una o varias variables que sean representativas del funcionamiento de los equipos sobre los que se les aplica este mantenimiento. En este mantenimiento se deben utilizar técnicas estadísticas para el tratamiento de los valores de las variables medidas, para obtener tendencias de evolución, curvas de regresión de fallos y predicciones de las condiciones futuras de los equipos” [6]. Lo que en la investigación los investigadores han decidido denominar patrones.

Para el estudio de ellos resulta indispensable “la monitorización de la temperatura de componentes en funcionamiento, es un método habitual para la detección de averías. El principio de funcionamiento de este método es sencillo, se realiza una medición en continuo de la temperatura del componente que se quiera monitorizar y se realiza un seguimiento de la evolución de esta. Para la detección de averías se fija un rango de temperaturas esperadas del componente dentro de sus diferentes rangos operativos y condiciones externas, fuera de este rango se fijan niveles de alarma. Los primeros niveles de alarma generan alertas cuando se alcanzan temperaturas por encima del rango fijado, pero dentro de lo admisible, dichas alertas son advertencias de la detección de una anomalía en el componente monitorizado. Como último nivel de alarma se fija la temperatura máxima admisible por encima de la cual se pueden producir daños severos en el componente “[7]. En la presente investigación mediante el monitoreo de las temperaturas se identifican patrones que serán obtenidos aplicando los siguientes materiales y métodos.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

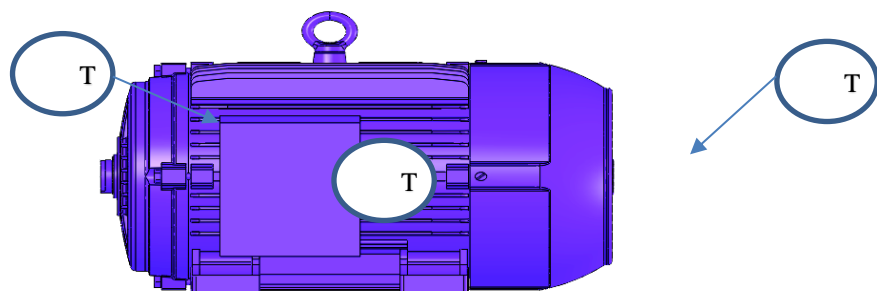
La investigación presente, realizó un exhaustivo monitoreo del comportamiento de las temperaturas en los aerogeneradores a través de sensores PT 100 incorporados al sistema de control y adquisición de datos (SCADA), que disponen los equipos. Los cuales permitieron acumular grandes bases de datos con un seguimiento diez minatural de las variables que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Reportes de temperaturas diez-minutales generadas por el sistema SCADA.

Fecha y Hora	Generación (kW)	T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)	Velocidad del viento (m/s)
6/03/2018 7:10	56	49	41	63	5
6/03/2018 7:00	241	48	40	63	8
6/03/2018 6:50	76	48	40	61	5
6/03/2018 6:40	98	52	43	65	6
6/03/2018 6:30	120	49	40	63	6

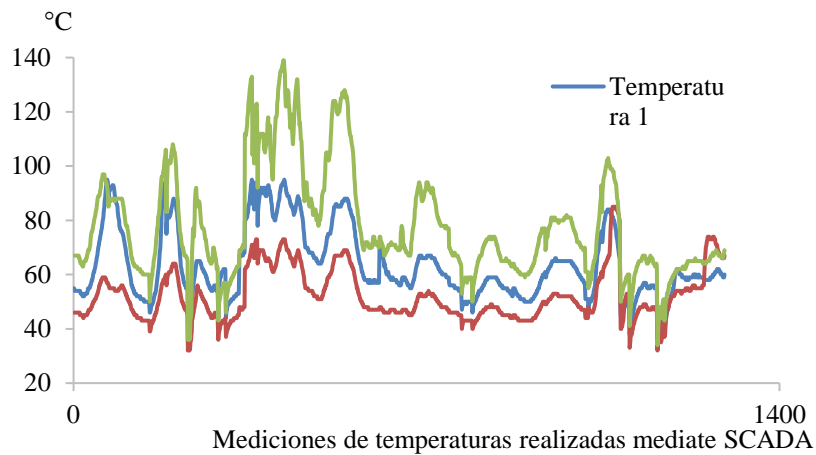
T 1: Temperatura del cojinete 1 del generador.  
T 2: Temperatura del cojinete 1 del generador.  
T 3: Temperatura del devanado del generador.

En la figura 1 se muestra la posición de los sensores PT 100 en el generador eléctrico estudiado, encargados de monitorear las temperaturas.



**Fig. 1.** Representación gráfica del generador eléctrico estudiado y el posicionamiento de los sensores de temperaturas.

Según [8, 9] el comportamiento técnico de los generadores asincrónicos estudiados se encuentra estrechamente relacionado con la velocidad del viento. El viento manifiesta un comportamiento aleatorio, que pudiera por momentos tender a confundir a los investigadores en la búsqueda de patrones. Pues genera comportamientos reales de las temperaturas del generador similares a los mostrados en la siguiente figura, donde resulta difícil establecer patrones que faciliten obtener modelos, o asociar el comportamiento a una función matemática, sin recurrir a métodos de inteligencia artificial.

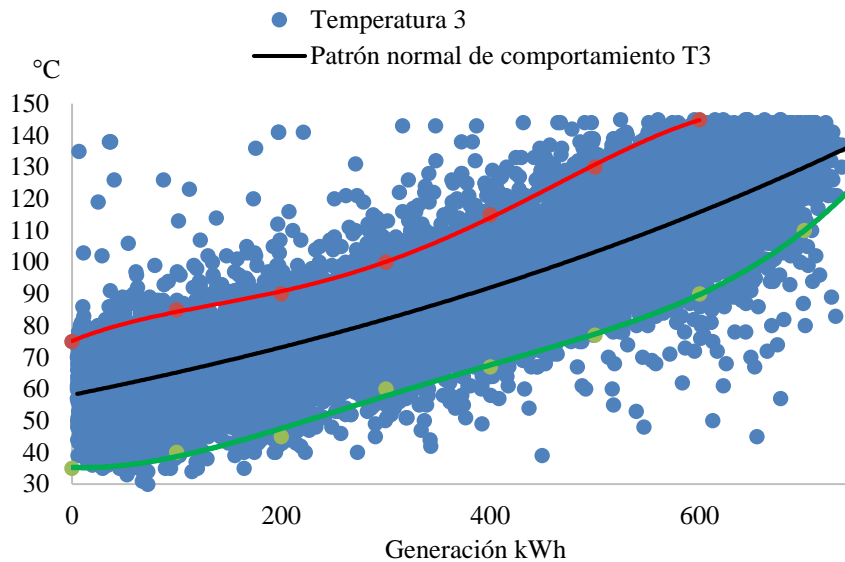


**Fig. 2.** Comportamiento de las temperaturas en el generador eléctrico según trabajo realizado.

Atendiendo la figura anterior se puede afirmar que existe un patrón de comportamiento lineal entre las temperaturas de los cojinetes y las del devanado. Por lo cual, obteniendo el patrón de comportamiento del devanado, se puede establecer la relación con los patrones de las otras temperaturas. Dado que las condiciones en el devanado están estrechamente relacionadas con el trabajo realizado. Lo cual permite establecer la relación con la generación eléctrica y lo ubica en el centro de la investigación. Basado en esa filosofía de correlación entre parámetro, aplicando la normalización de los valores monitoreados, para obtener modelos matemáticos sustentados en regresión polinómica y mediante el empleo del Excel, se pudieron obtener los siguientes resultados.

## RESULTADOS

“Las herramientas de modelado y simulación permiten evaluar los efectos del daño en el estado de salud de los componentes e identificar y evaluar las cargas en aerogeneradores a través de una estrategia de control adecuada” [10]. Se puede apreciar claramente en la siguiente figura la obtención de modelos y patrones, mediante el empleo del Excel y normalización de los datos.



**Fig. 3.** Patrón de comportamiento de la temperatura del devanado del generador en aerogeneradores Goldwind modelo S50/750 Vs Generación eléctrica.

En la figura 3, se identificaron las curvas polinómicas de cuarto orden que caracterizan los comportamientos límites en la temperatura del devanado, así como se definió mediante una curva exponencial el comportamiento normal del variable en estudio. En todos los casos fueron establecidas las respectivas funciones matemáticas, mediante las cuales, con el conocimiento de los valores de generación o de velocidad del viento se pudieran predecir comportamiento en el generador. Que de no manifestarse dentro de los límites identificados, entonces estarían proporcionando la información de un trabajo anómalo, característica de un desarrollo incipiente de fallos. A continuación se muestran los modelos matemáticos determinados para caracterizar los patrones de comportamiento de la temperatura en el devanado, en función de la generación.

Ecuación 1. Límite máximo de trabajo para T3:

$$y = -2E - 9X^4 + 2E - 6X^3 - 0,0006 X^2 + 0,132X + 75,173 \quad (1)$$

Ecuación 2. Definición de trabajo normal para T3:

$$y = 58,134e^{0,0011x} \quad (2)$$

Ecuación 3. Límite mínimo de trabajo para T3:

$$y = 9E - 10X^4 - 1E - 6X^3 - 0,0006 X^2 - 0,0126X + 35,268 \quad (3)$$

## CONCLUSIONES

Mediante los sistemas SCADA de los aerogeneradores Goldwind modelo S 50/750, se pueden coleccionar Big Datas, donde aplicando regresión polinómica, se identifican los modelos matemáticos que caracterizan patrones de temperaturas de trabajo en el generador eléctrico. Lo cual permitió en el PE de Gibara 2 adaptar las condiciones de explotación y los ciclos de mantenimiento de los equipos, según las condiciones climáticas de Cuba.

## BIBLIOGRAFÍA

1. D. L. Pinjia Zhang, "A Survey of Condition Monitoring and Fault Diagnosis toward Integrated O&M for Wind Turbines," *Energies*, 2019.
2. Y. Arbellá, Trinchet, C., Meléndez, E., Lorente, L., Peluffo, D., "Analysis of the thermal behavior in the Goldwind S50/750 Wind Turbines installed in the Wind Farm Gibara II using CAD-CAE Tools," *IJMPERD*, vol. 10, 2020.
3. P. E. L. Rodríguez, "Evaluación Numérica del Estado Tensional-Deformacional de la pala en el Aerogenerador Gamesa G52/850 durante la acción del viento Extremo," *Maestría Facultad de Ingeniería. Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín*, 2017.
4. E. R. Hidalgo, Batista, "Patrones de fallos en motores de combustión interna diesel MTU 16V 4000 G81 de grupos electrógenos," *Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín*, 2017.
5. X. Sun, D. Xue, R. Li, X. Li, L. Cui, X. Zhang, et al., "Research on Condition Monitoring of Key Components in wind Turbine based on Cointegration Analysis," presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.
6. F. F. Díaz, "Investigación sobre variables predictivas del mantenimiento de parques eólicos," *Tesis doctoral Departamento de C.C de la Navegación e Ingeniería Marina, Universidade da Coruña*, 2018.
7. F. F. Díaz, "Investigación sobre variables predictivas del mantenimiento de parques eólicos," *Tesis doctoral Departamento de C.C de la Navegación e Ingeniería Marina, Universidad de Coruña*, 2018.
8. G. Science&Technology, "Goldwind S50/750 Wind Turbine Technical parameters and Product description(60Hz)," in *seccion de titulo vol. Q/JF 2CP50/750.2-2007*, ed. China: LTD Industry Standard, 2007.
9. X. Goldwind Science & Technology Co. Ltd., "Goldwind S50/750 Wind Turbine Generator System Operation and Maintenance Manual for Cuba Project (50m High 3-section Tower in IEC Wind Class IIA, 60Hz) ", ed, 2008.
10. I. T. S. Jerez, M. Turco, P. Jiménez-Guerrero, R. Vautard, J.P. Montávez, "Future changes, or lack thereof, in the temporal variability of the combined wind-plus- solar power production in Europe," *Renewable Energy*, 2019.