**Influencia del viento y temperatura ambiente en el funcionamiento de los aerogeneradores del Parque eólico Gibara 1**

**Influence of wind and environment temperature on the performance of the wind turbines of the Gibara 1 Wind Farm**

**Pedro Luis Pérez Font1, Elio Rafael Hidalgo Batista2, Eduardo Escalona Soto3**

1 Universidad de Holguín Sede Oscar Lucero Moya, Departamento de Ingeniería Mecánica,Cuba, [pluis@uho.edu.cu](mailto:pluis@uho.edu.cu).

2 Universidad de Holguín Sede Oscar Lucero Moya, Departamento de Ingeniería Mecánica,Cuba, [elio@uho.edu.cu](mailto:elio@uho.edu.cu).

3 Parque Eólico Gibara, Cuba, [eduardo@elechol.une.cu](mailto:eduardo@elechol.une.cu).

Resumen

En el artículo se aborda la necesidad de conocer la influencia del viento y la temperatura ambiente como variables meteorológicas en el funcionamiento de los aerogeneradores del Parque eólico Gibara 1. En este trabajo se determina a través de análisis de correlación, la influencia de estas variables en el funcionamiento de los aerogeneradores del Parque eólico de Gibara. Llegando a las siguientes conclusiones: que la temperatura ambiente no influye en las altas temperaturas de los elementos pertenecientes a la caja multiplicadora y al generador; la velocidad de viento tiene una alta influencia en las temperaturas registradas por el SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Adquisición de datos y supervisión de control), pertenecientes a la multiplicadora y el generador. El conocimiento de la influencia del viento en el funcionamiento de estos aerogeneradores posibilita determinar las variables para el diagnóstico de los aerogeneradores del Parque eólico Gibara 1.

Palabras claves: viento; temperatura; análisis estadístico; aerogeneradores.

SUMMARY

The article addresses the need to know the influence of wind and ambient temperature as meteorological variables in the operation of the wind turbines of the Gibara 1 wind farm. In this work, the influence of these variables is determined through correlation analysis. The performance of the wind turbines from Gibara 1 wind farm. Reaching the following conclusions: that the environment temperature does not influences the high temperatures of the elements belonging to the gearbox and the generator; the wind speed has a high influence on the temperatures registered by the SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) belonging to the multiplier and the generator. Knowledge of the influence of wind on the performance of these wind turbines makes it possible to determine the variables for the diagnosis of the wind turbines of the Gibara 1 wind farm.

Key words: wind; temperature; statistical analysis; wind turbines.

**1. INTRODUCCIÓN**

Una de las áreas de grandes problemas medioambientales es la generación de energía y son muchos los esfuerzos que hay que promover a fin de articular un porvenir más esperanzador para las generaciones futuras, y en este sentido, uno de los logros más significativos es, sin duda, el desarrollo de nuevas actitudes respecto al uso racional de energía y políticas que fomentan al máximo el uso de energías renovables, también llamadas “energías verdes o limpias”, tales como la eólica, solar, hidráulica y biomasa, que reducen las emisiones de gases que producen el calentamiento del planeta. Una de estas políticas es el Protocolo de Kyoto, el cual tiene como objetivo reducir sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono (CO2), (Ríos, 2011, p. 1).

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. La misma difiere de las formas convencionales, estando entre las diferencias fundamentales las medidas de las unidades individuales, la naturaleza variable del viento y el tipo de generador eléctrico (Ríos, 2011, p. 1).

El potencial eólico introducido en el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) ha aumentado durante las últimas décadas, lo que ha incitado a que los operadores del sistema se tropiecen con el difícil problema de ajustar este nuevo tipo de generación de energía eléctrica, también nombrada generación distribuida, que tiene sus propias particularidades, para lograr que el sistema sea seguro y fiable. Cuestiones tales como la influencia de los parques eólicos en la regulación de frecuencia y tensión, fluctuaciones del viento, huecos de voltaje, etc., están siendo estudiados en el marco de este nuevo contexto (Ríos, 2011, p. 1).

Como parte de la Revolución Energética en Cuba, y como resultado de la voluntad política del Estado de impulsar el uso de la energía eólica, en abril de 2005 se emprendió un programa con la creación del Grupo de Trabajo para el impulso de la Energía Eólica y como resultado de este trabajo en octubre del 2010 comenzó a generar el Parque Eólico más grande con que cuenta actualmente Cuba, Gibara , en la provincia de Holguín, compuesto por Gibara 1, entregando una capacidad de 5,1 MW a partir de febrero del 2008 y Gibara 2, comenzando su explotación en octubre del 2010, generando 4,5 MW, entregando un total de 9,6 MW al sistema. (Ríos, 2011, p. 2)

La tecnología usada en Gibara I consiste en seis aerogeneradores, G52-850 kW de Gamesa Eólica (española) y la usada en Gibara 2, seis aerogeneradores Goldwind S50-750 kW de procedencia China, cada uno elevando a 11,73 MW la potencia eólica total instalada en el país, al sumársele los 0,45 MW y 1,65 MW de los parques de Turiguanó y la Isla de la Juventud respectivamente. Además de los cerca de 30 kW instalados en pequeños aerogeneradores aislados del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). (Ríos, 2011, p. 2)

El aerogenerador G52 – 850 kW de Gamesa Eólica es un aerogenerador de rotor tripala a barlovento, regulado por sistema de cambio de paso y con sistema de orientación activo. Tiene un rotor de 52 m de diámetro y utiliza el sistema de control Ingecon-W capaz de adaptar el aerogenerador para operar en grandes intervalos de velocidad de rotor 12 (Características y funcionamiento general G52-850 kW, 2003, p.6).

Los aerogeneradores G52-850kW son generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG-Dolby Fed Induction Generators). La razón principal para la popularidad de este tipo de generadores es debido a su capacidad de suministrar potencia a tensión y frecuencia constante, mientras que se varía la velocidad del rotor (Ríos, 2011, p. 2).

Los servicios que plantea la nueva filosofía de mantenimiento predictivo en los parques, se compone de varios tipos de inspección y estudio que se complementan y consiguen evitar los graves problemas que, hasta no hace mucho, se producían en los aerogeneradores. (Pérez de Larraya, 2014, pág. 96)

Una de las innovaciones tecnológicas más importantes en este tipo de mantenimiento es la monitorización, ya que monitorizar un aerogenerador permite recibir medidas de forma continua y automática, a través de sistemas de adquisición de datos de sensores instalados en el aerogenerador, y de la información recibida de los sensores de control de la máquina. (Pérez de Larraya, 2014, pág. 97)

Durante el período de explotación (11 años) han ocurrido distintos tipos de averías que se han producido en los aerogeneradores del Parque eólico de Gibara, las más importantes en cuanto a tiempo de parada y pérdida de producción son aquellas ligadas a fallos en alguno de los componentes principales del aerogenerador. Especialmente, en aquellas en las que se hace necesario el cambio del generador o multiplicadora.

En este periodo se han registrado diversas alarmas de temperatura en la multiplicadora y el generador, fundamentalmente cuando las velocidades de viento superan los 10 m/s; lo que trae consigo las paradas de los aerogeneradores y la indisponibilidad del Parque eólico.

El objetivo central de esta investigación es conocer la influencia del viento y temperatura ambiente en el funcionamiento del aerogenerador G52-850 del Parque eólico Gibara1, siendo la hipótesis: Si se realiza un análisis de correlación de las variables registradas por el SCADA, permitirá determinar la influencia del viento y la temperatura ambiente en el funcionamiento de los aerogeneradores del Parque eólico Gibara 1.

**2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para desarrollar la investigación cuyos resultados se exponen en este artículo se emplearon métodos de investigación teóricos como son: análisis y síntesis e histórico – lógico para el estudio del objeto a través del tiempo y llegar a un análisis lógico.

Los métodos empíricos empleados en la recolección de los datos fueron: observación participante, documentos oficiales de la empresa: expedientes técnicos, registros de mantenimientos, documentos internos y documentos personales de revisiones bibliográficas precedentes.

La técnica fundamental empleada fue el análisis estadístico a través del software STATGRAPIHCS, Centurión; para conocer si existe o no una relación entre las velocidades de viento y las temperaturas ambiente con respecto al resto de las variables registradas por el SCADA.

**3. RESULTADOS DEL TRABAJO**

El Parque eólico de estudio pertenece al municipio de Gibara, provincia Holguín, Cuba; cuenta con seis aerogeneradores modelo G52-850 kW de la compañía Gamesa de procedencia española, los equipos instalados en el parque son monitorizados por el SCADA, este programa se utiliza para la monitorización y control remoto de aerogeneradores, lo cual nos permite visualizar entre otras cosas, un mapa de lectura donde se pueden observar las diferentes variables registradas por los sensores instalados en los elementos de estos equipos, ver figura 1.

SCADA es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Proporciona información del proceso a diversos usuarios: operadores, supervisores de control de calidad, supervisión, mantenimiento, entre otros (Castro, 2016, p.2).

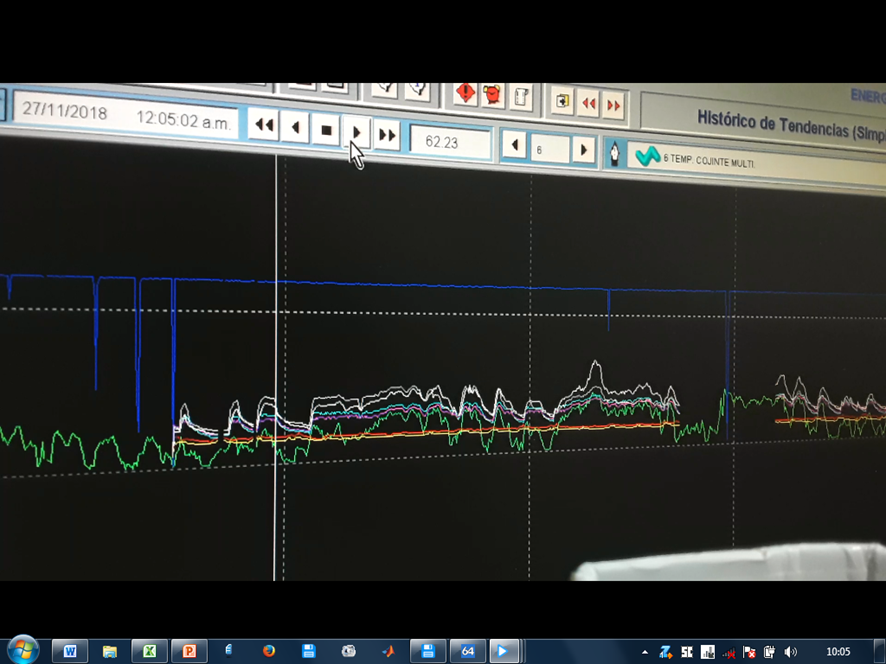


Figura 1. Vista de las lecturas registradas por el SCADA. Foto tomada por Pedro Luis Pérez Font, celular Samsung Galaxy J2 Core, Parque eólico de Gibara 1.

Debido a que la infraestructura del sistema de adquisición de datos no está completa, no se pueden exportar, o almacenar la información proveniente de estos sensores, por lo que las lecturas solo permiten un tiempo de visualización de un mes. En la tabla 1 se muestran todas las variables registradas por el SCADA.

Tabla 1. Variables registradas por el SCADA. (Elaboración propia)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Canal | Descripción | Canal | Descripción |
| 01 | Ángulo del pitch | 17 | Presión del grupo hidráulico |
| 02 | Salida servo válvula | 18 | Tensión de red |
| 03 | Dirección del viento | 19 | Corriente de red |
| 04 | Temperatura Góndola | 20 | Frecuencia de red |
| 05 | Temperatura rodamiento multiplicadora | 21 | Tensión generador |
| 06 | Temperatura aceite multiplicadora | 22 | Corriente generador |
| 07 | Temperatura ambiente | 23 | Frecuencia generador |
| 08 | Temperatura aceite grupo hidráulico. | 24 | Corriente de rotor |
| 09 | Temperatura rodamiento delantero | 25 | Potencia estator |
| 10 | Temperatura rodamiento trasero | 26 | Potencia rotor |
| 11 | Temperatura máxima del devanado del generador | 27 | Potencia total |
| 12 | Temperatura máxima del transformador | 28 | Potencia reactiva |
| 13 | Temperatura de control (tarjeta CCU) | 29 | Tensión del BUS |
| 14 | Temperatura del embarrado | 30 | Posición nacelle |
| 15 | Temperatura del radiador superior | 31 | Velocidad de viento |
| 16 | Temperatura del radiador inferior |  |  |

Los autores durante su investigación ha concluido que la temperatura es un dato fundamental para modelar el comportamiento óptimo del equipo, por lo que centran la información principal en las variables que registran la temperatura del equipo, principalmente en aquellas ubicadas en los elementos mecánicos, los cuales pueden llevar a la detección de un mal funcionamiento o deterioro de algún elemento de los principales componentes del aerogenerador (multiplicadora y generador). Para ello se tomaron las bases de datos de los meses de noviembre, diciembre del 2018 y enero, febrero del 2019, pertenecientes al Parque eólico Gibara 1.

En la tabla 2 se observa las variables seleccionadas para el análisis de los datos registrados por las mismas.

**Tabla 2. Variables seleccionadas para el análisis. (Elaboración propia)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Canal | Descripción |  |
| 09 | Temperatura del cojinete lado acoplamiento (Temp CLA). |  |
| 10 | Temperatura del cojinete lado opuesto al acoplamiento (Temp CLOA). |  |
| 11 | Temperatura máxima del devanado del generador (Temp MDG). |  |
| 07 | Temperatura ambiente (Temp A). |  |
| 31 | Velocidad del viento (Velocidad V). |  |
| 06 | Temperatura aceite multiplicadora (Temp AM). |  |
| 05 | Temperatura cojinete multiplicadora (Temp CM). |  |
| 17 | Presión del grupo hidráulico (Presión GH). |  |
| 08 | Temperatura aceite del grupo hidráulico (Temp AGH). |  |
| 14 | Temperatura del embarrado del generador Temp emb G. |  |
| 01 | Ángulo de las palas (Cos fi). |  |
| 04 | Temperatura en el interior de la góndola (Temp Gónd). |  |
| 15 | Temperatura del R1 (Temp R1). |  |
| 16 | Temperatura R2 (Temp R2). |  |
| 12 | Temperatura máxima del transformador (Temp Máx T). |  |

A continuación en la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados de los análisis arrojados tras el estudio por el software STATGRAPHICS Centurión-estadística. Sgp.

**Tabla 3. Correlaciones de variables positivas y significativas. (Elaboración propia)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Cos fi | Presión G H | Tem A | Temp A M | Temp AGH | Temp C M | Temp CLA | Temp CLOA |
| Cos fi |  | 0,2643 |  | **0,4561** |  | **0,7325** | **0,3874** | **0,5762** |
|  |  | (208) |  | **(208)** |  | **(208)** | **(208)** | **(208)** |
|  |  | 0,0001 |  | **0,0000** |  | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** |
| Presión GH | 0,2643 |  |  | 0,1521 |  | 0,2621 |  | 0,2784 |
|  | (208) |  |  | (208) |  | (208) |  | (208) |
|  | 0,0001 |  |  | 0,0283 |  | 0,0001 |  | 0,0000 |
| Tem A |  |  |  |  | **0,9200** |  |  |  |
|  |  |  |  |  | **(208)** |  |  |  |
|  |  |  |  |  | **0,0000** |  |  |  |
| temp AM | **0,4561** | 0,1521 |  |  |  | **0,8216** | **0,5192** | **0,5533** |
|  | **(208)** | (208) |  |  |  | **(208)** | **(208)** | **(208)** |
|  | **0,0000** | 0,0283 |  |  |  | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** |
| Temp AGH |  |  | **0,9200** |  |  |  |  |  |
|  |  |  | **(208)** |  |  |  |  |  |
|  |  |  | **0,0000** |  |  |  |  |  |
| Temp CM | **0,7325** | 0,2621 |  | **0,8216** |  |  | **0,6569** | **0,7733** |
|  | **(208)** | (208) |  | **(208)** |  |  | **(208)** | **(208)** |
|  | **0,0000** | 0,0001 |  | **0,0000** |  |  | **0,0000** | **0,0000** |
| Temp CLA | **0,3874** |  |  | **0,5192** |  | **0,6569** |  | **0,7868** |
|  | **(208)** |  |  | **(208)** |  | **(208)** |  | **(208)** |
|  | **0,0000** |  |  | **0,0000** |  | **0,0000** |  | **0,0000** |
| Temp CLOA | **0,5762** | 0,2784 |  | **0,5533** |  | **0,7733** | **0,7868** |  |
|  | **(208)** | (208) |  | **(208)** |  | **(208)** | **(208)** |  |
|  | **0,0000** | 0,0000 |  | **0,0000** |  | **0,0000** | **0,0000** |  |
| Temp MDG | **0,5020** | 0,1776 |  | **0,5268** |  | **0,7004** | **0,9541** | **0,8109** |
|  | **(208)** | (208) |  | **(208)** |  | **(208)** | **(208)** | **(208)** |
|  | **0,0000** | 0,0103 |  | **0,0000** |  | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** |
| Velocidad V | **0,4805** | 0,2101 |  | 0,1692 |  | **0,4335** | **0,3824** | **0,4414** |
|  | **(208)** | (208) |  | (208) |  | **(208)** | **(208)** | **(208)** |
|  | **0,0000** | 0,0023 |  | 0,0145 |  | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** |

Teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por expertos y bibliografía revisada, se determinó tomar como coeficiente de correlación significativo a partir de 0,38 y valor –P (probabilidad) menor a 0.05, como indicadores para establecer una fuerte relación entre la velocidad de viento y su manifestación que es el cos fi (ángulo de las palas), respecto a las temperaturas registradas en la multiplicadora y el generador.

No siendo así con la temperatura ambiente la cual está fuertemente relacionada únicamente con la temperatura del aceite del grupo hidráulico, sin embargo este sistema no posee los antecedentes que tienen la multiplicadora y el generador en cuanto a su impacto en la disponibilidad del equipo y a los costos de mantenimiento y reparación, por tanto los autores llegan a la conclusión de que la temperatura ambiente registrada no influye en el funcionamiento del equipo fundamentalmente en los elementos principales (multiplicadora y generador).

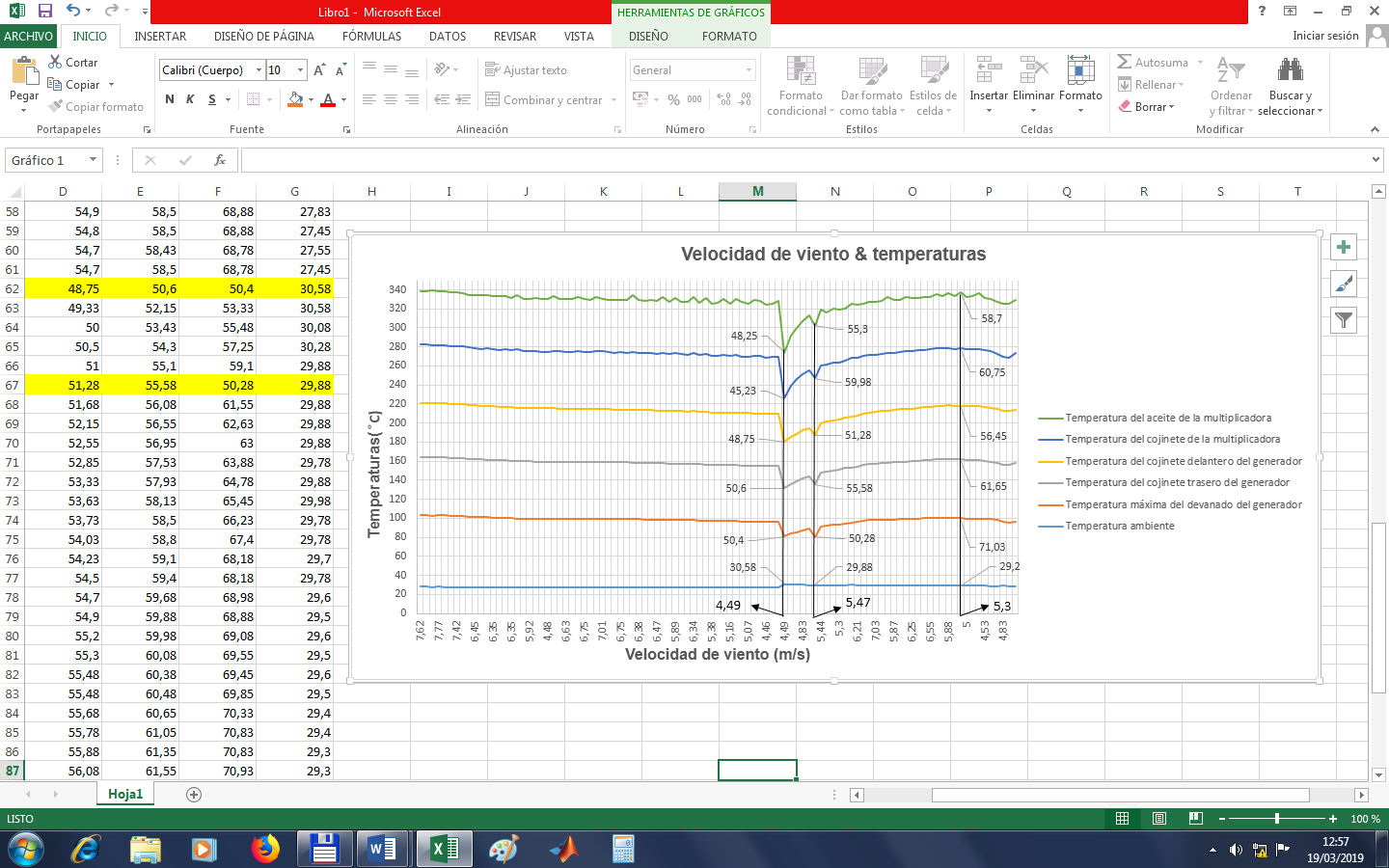
Del análisis anterior se concluye que los pares de variables que cumplen con las condiciones para una fuerte correlación son:

1. Velocidad de viento o cos fi y Temp AM.
2. Velocidad de viento o cos fi y Temp CM.
3. Velocidad de viento o cos fi y Temp CLA.
4. Velocidad de viento o cos fi y Temp CLOA.
5. Velocidad de viento o cos fi y Temp MDG.

En la figura 2 se muestra un resumen de las variables recogidas por el SCADA, donde se puede apreciar el comportamiento de estas, durante el funcionamiento del equipo, con diferentes velocidades de viento. En esta figura se puede observar tres marcadores representados como líneas verticales de color negro las cuales toman un punto de medición en específico de la velocidad de viento.

El primer marcador, en el orden de izquierda a derecha, representa en el extremo inferior el valor de velocidad del viento de 4,49 m/s, encima de este se encuentra la temperatura ambiente con 30,58 °C, le sigue la temperatura máxima en el devanado del generador con 50,4 °C, a continuación la temperatura del cojinete trasero del generador con 50,6 °C, después la temperatura del cojinete delantero del generador con 48,75 °C, luego la temperatura del cojinete de la multiplicadora con 45,23 °C y por último la temperatura del aceite de la multiplicadora con 48,25 °C y así sucesivamente para el resto de los marcadores representados.

En el segundo y tercer marcador se puede observar que al aumentar la velocidad del viento aumentan las temperaturas pertenecientes a la multiplicadora y el generador, no siendo así con la temperatura ambiente, la cual se puede decir que es inversamente proporcional a la velocidad de viento y esto se debe, a que al aumentar la velocidad de viento es mayor la disipación del calor tanto dentro de la góndola como en el exterior de esta, por tanto los sensores que miden la temperatura ambiental marcan un ligero cambio debido a las variaciones de velocidad del viento.



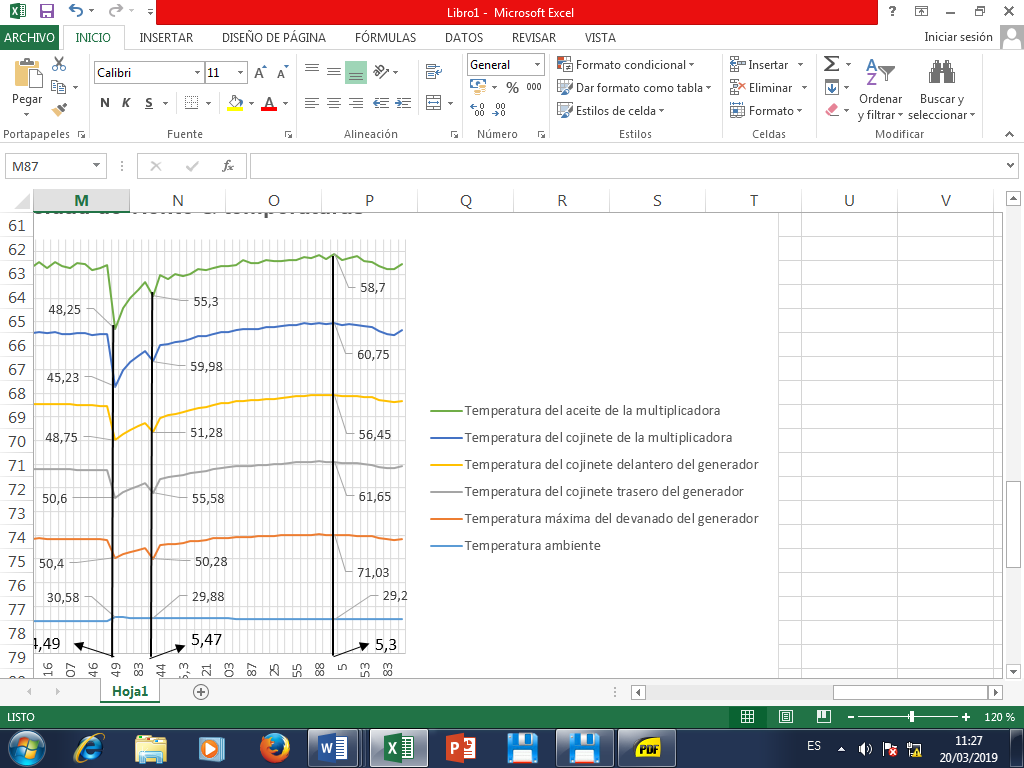


Figura 2. Comportamiento de las variables de temperatura con respecto al viento. (Elaboración propia).

Del análisis realizado en los párrafos anteriores se puede observar la relación existente entre la velocidad de viento y las temperaturas pertenecientes a la multiplicadora y el generador (Temperatura cojinete multiplicadora, temperatura aceite multiplicadora, temperatura cojinete delantero y trasero del generador y temperatura máxima del devanado del generador) contrastando los resultados obtenidos en el análisis de correlación entre estas variables realizado a través del software STATGRAPHICS Centurión-estadística. Sgp.

**4. CONCLUSIONES**

* 1. La temperatura ambiente no tiene relación con las temperaturas registradas por el SCADA en la multiplicadora y el generador.
  2. La temperatura ambiente está relacionada con la temperatura del aceite del grupo hidráulico.
  3. Las velocidades de viento tienen una gran influencia en las temperaturas registradas por el SCADA en los elementos de la multiplicadora y el generador.

**5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Castro Lozano, C., & Romero Morales, C. (2016). Introducción a SCADA. Interfaz Hombre Máquina. Conferencia.

Gamesa Eólica. (2003). Manual general. Características y funcionamiento general G52-850 kW.

Jorge Gállego Pérez de Larraya. (2014). Optimización del mantenimiento preventivo de un aerogenerador mediante el diseño de tareas de su fuerza de trabajo (tesis de grado). Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación (Universidad Pública de Navarra). España.

Microsoft Excel.

Ríos, P. Y. (2011). Estudio de la Interconexión del Parque Eólico Gibara 2 al Sistema Eléctrico (tesis de grado). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.

Software STATGRAPHICS Centurión-estadística. Sgp.

American Psychologycal Association (2002). Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (5 e d.). M éxico, D.F.: Editorial El Manual Moderno