



Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF WIND TURBINE FACILITY GIBARA 2

Antonio – Torres Valle
Erich – Martínez Martín

Recibido: enero de 2015
Aprobado: julio de 2015

RESUMEN/ABSTRACT

Las energías renovables, en particular la eólica, ocuparán un lugar importante en las próximas décadas, marcadas por el agotamiento de las fuentes de combustible fósil. En Cuba se prevé un crecimiento considerable en la utilización de estas fuentes energéticas. De ahí la importancia de crear las bases del uso de tecnologías confiables que garantice tal misión futura. El artículo se propone como objetivo central, realizar el análisis de confiabilidad del parque eólico Gibara 2 partiendo del empleo de la metodología de árbol de fallos y recomendar algunas posibles aplicaciones de sus resultados. Un paso esencial en la investigación es la determinación de los componentes que participarán en el árbol de fallos y el procesamiento de la base de datos disponible en el parque Gibara 2. El documento tributa esencialmente a la identificación de los contribuyentes principales a la indisponibilidad de los parques y a la optimización de la política de mantenimiento.

Palabras clave: aerogenerador, árbol de fallos, confiabilidad, energía eólica, mantenimiento.

Renewable energy, particularly wind, will occupy an important place in the coming decades, marked by the depletion of fossil fuel sources. In Cuba significant growth in the use of these energy sources is forecasted. For this reason is important the creation of reliable technology to ensure that future mission. The paper proposes as its central objective, the analysis of reliability of Wind Farm Gibara 2 starting from its representation based on the methodology of fault tree and to recommend some possible applications of the results. An essential step in the research is the determination of participating components in the fault tree and processing of the available reliability database at the Wind Farm Gibara 2. The document essentially helps in the identification of the main contributors to the unavailability of facilities and optimizing maintenance policy.

Key Words: wind turbine, fault tree, reliability, wind energy, maintenance.

INTRODUCCIÓN

En el escenario mundial las energías renovables tendrán cada vez mayor impacto, destacándose en esta afirmación la energía eólica. Se prevé que para el año 2100, casi un tercio de la matriz energética mundial se base en energías renovables [1]. La figura 1, representa esta afirmación.

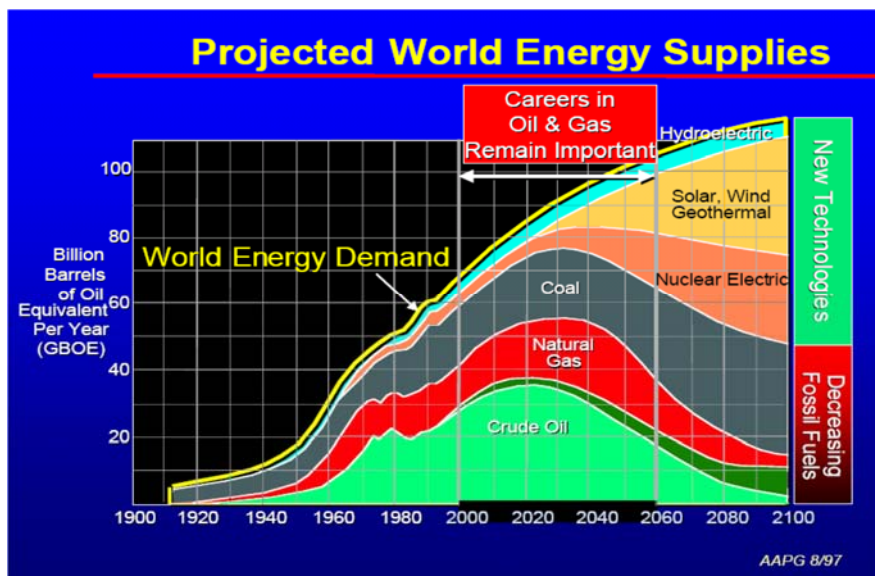


Fig. 1. Visión de la matriz energética en el mundo

En el caso de Cuba se prevé que, en un futuro próximo (año 2030) los campos eólicos de la zona norte central y nororiental del país abastezcan más de 630 MW a la matriz energética. Ello está respaldado también por proyectos nacionales de uso de fuentes de energías renovables [2]. Es por ello, trascendental crear desde hoy, las bases para el uso de tecnologías confiables que garantice tal misión futura. Los análisis de confiabilidad consultados sobre parques eólicos han comprendido varios frentes: la investigación de los históricos de fallos para diferentes partes componentes de los aerogeneradores o por máquinas completas [1, 3], algunas aplicaciones puntuales para análisis de riesgo [4, 5] y análisis probabilista de variables meteorológicas [6]. En principio, algunas de estas aplicaciones [1,3,6], constituyen un buen antecedente para esta investigación, aunque no satisfacen las expectativas de un análisis de fiabilidad integral. El estado actual de los códigos informáticos destinados al análisis de confiabilidad mediante árboles de fallos muestra un notable desarrollo y disponibilidad, existiendo en este sentido versiones nacionales que pueden ser usadas para estudios sistémicos de instalaciones complejas [6].

Adicionalmente, la disponibilidad de registros de fallos de partes componentes de estas máquinas acopiados durante más de 4 años en el parque de Gibara [Ministerio de Energía y Minas, Base de datos de Parque Eólico de Gibara 2, 2012], unido a otras informaciones estadísticas de nivel mundial [1], establecen los fundamentos para la obtención de una base de datos que se considera, en principio suficiente, para realizar un estudio piloto de la confiabilidad del funcionamiento del emplazamiento de referencia. Partiendo de lo antes expuesto constituye Objeto de Investigación, la "Confiabilidad tecnológica del parque de aerogeneradores de Gibara 2". De aquí que el Problema Científico que se plantea es la "Inexistencia de Modelos Sistémicos de Fallos y de datos de confiabilidad de los parques eólicos que permitan realizar análisis de confiabilidad de los mismos". De esta forma, constituye Hipótesis de esta investigación que "El uso del método de Árbol de Fallos (AF) unido al análisis estadístico y la información mundial recopilada sobre fallos de aerogeneradores permitirá la modelación sistémica del parque eólico Gibara 2".

Por ello, constituye Objetivo General "Realizar el análisis de confiabilidad del parque eólico Gibara 2 partiendo de la aplicación de la metodología de AF y recomendar algunas posibles aplicaciones de sus resultados". Este artículo se deriva del proyecto perteneciente al programa nacional de empleo de fuentes renovables de energía en Cuba [Instituto superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (INSTEC), Proyecto nacional "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba", 2014], el cual es liderado por el departamento de ingeniería nuclear del INSTEC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los parques aerogeneradores existentes en Cuba se ha decidido utilizar al parque Gibara 2 como objeto de estudio de la confiabilidad tecnológica de este tipo de instalación. Ello está determinado,

esencialmente, por el volumen de información disponible en dicho parque sobre registros de fallos e indisponibilidades [Ministerio de Energía y Minas, Base de datos de Parque Eólico de Gibara 2, 2012].

El parque Gibara 2 está montado en base a aerogeneradores de la marca Goldwind, modelo S50/750. Los aerogeneradores Goldwind de 750 kW se desarrollaron a partir de un modelo de igual potencia del tecnólogo y fabricante alemán REPower, adquiriéndose gran experiencia en la compañía Goldwind en la producción y mantenimiento de estos equipos [7,8].

Un esquema del aerogenerador Goldwind, objeto de estudio se muestra en la figura 2.

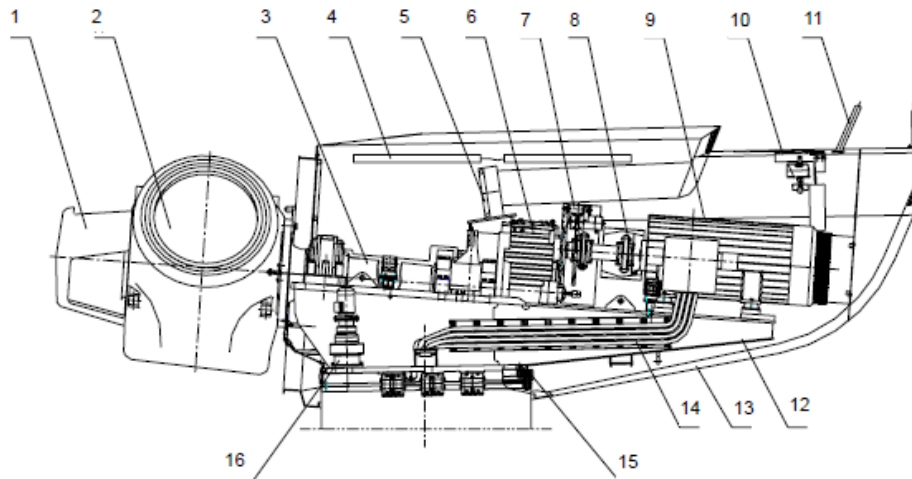


Fig. 2. Esquema general de Aerogenerador marca Goldwind: 1- Soporte, 2- Rotor, 3- Eje principal, 4- Sistema de luces, 5- Sistema de refrigeración del aceite del engranaje, 6- Caja multiplicadora, 7- Frenos, 8- Enganche, 9- Generador, 10-Elevador de cadena, 11- Veleta, Anemómetro, 12- Bastidor de base, 13- Góndola, 14- Cable de alimentación, 15-Corona de orientación, 16- Mecanismo de orientación

Como se ha expresado, el método utilizado para el análisis de confiabilidad del parque eólico será el de árbol de fallos [6]. Se trata, propiamente, del nivel cero entre los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS), el cual consiste en el análisis de confiabilidad de Componentes y Sistemas. El estudio queda limitado al análisis de sistemas por separado, sin incluir el análisis de las posibles secuencias accidentales. Las salidas principales son la determinación de las probabilidades de fallas de componentes, sus combinaciones de fallos y la probabilidad de fallo del sistema. Un resultado muy útil lo son también las causas de fallos ordenadas por importancia [6]. En la bibliografía consultada se registra un artículo [5], que utiliza el APS para realizar un pequeño estudio de nivel 1 para un iniciador (Sobrevelocidad del viento – OVERSPEED). En dicha bibliografía la postulación del evento iniciador se realiza en forma de probabilidad de fallo en lugar de frecuencia. Adicionalmente, el análisis de sistemas para modelar estudios de confiabilidad de algunos pequeños esquemas mitigadores, se realiza por árboles de fallos, los que no son mostrados. Adicionalmente, se localizaron otras bibliografías relacionadas con el tema que constituyen respectivamente, referencias a análisis de fiabilidad por estudios estadísticos de fallos de componentes [1, 3], o análisis probabilistas de variables meteorológicas [4], los que por tanto, se alejan del objetivo de esta investigación. Una buena referencia como base de comparación se reporta en [3], donde se ilustran índices de disponibilidad o coeficiente de disponibilidad técnica para los aerogeneradores Gamesa del parque Gibara 1.

Por otra parte, se encontró una referencia [6], donde se combinan fallos catastróficos y degradados en un árbol de fallos, definiéndose componentes del aerogenerador y del sistema eléctrico asociado al emplazamiento. Los datos de fallos utilizados en el documento no son explícitos como información de referencia. Tampoco aparecen las fuentes de los datos que permitan su reproducción. Finalmente, se ilustra un ordenamiento de conjuntos mínimos de orden 1, el cual mezcla datos de frecuencia y de indisponibilidad.

La metodología de procesamiento de registros de fallos requiere como premisa del acopio de información sobre datos de fallos y mantenimientos.

Existen dos métodos esenciales de recopilación de estos datos [6]:

- Método activo
- Método pasivo.

El primero de estos métodos resulta costoso, dadas sus consecuencias. Es usado esencialmente en la industria aeronáutica y aeroespacial. Consiste en someter a prueba numerosos equipos objeto de investigación hasta su fallo, e ir contabilizando estos eventos para determinado modo de fallo. Posteriormente, tales registros se procesan y ajustan para conocer las tasas o probabilidades de fallos relativas a los mismos. Este grupo de dispositivos que son del mismo diseñador, fabricante y que poseen idénticas características y regímenes de explotación, se convierten en lo que se conoce como una familia, por lo que su agrupamiento es posible para este objetivo de análisis. El método pasivo es el resultado de la recopilación de información estadística de fallos de los procesos que normalmente transcurren durante la explotación de una instalación.

En este caso, la formación de las familias conlleva a un riguroso trabajo de clasificación de los equipos, para identificar similitudes en cuanto a tipo de componentes, diseño y régimen de explotación. Este tipo de base de datos permite, cuando el acopio de información es grande, e incluye mucha población, y en ocasiones varias instalaciones, conformar bases de datos genéricas como las que se encuentran en la bibliografía de referencia [9]. Tal práctica, será lógicamente aplicable a la obtención de bases de datos específicas que describan los componentes – modos de fallo de una instalación dada, como es el caso de la instalación objeto de esta investigación. Una forma de acoplar los datos específicos de fallos de una determinada familia de equipos con sus análogos genéricos es utilizar el método de ajuste bayesiano, el que permite tener en cuenta ambas experiencias en la descripción de los parámetros de confiabilidad para determinado tipo de dispositivo [9]. Aunque la práctica general es tomar a los equipos dinámicos en instalaciones complejas como grandes componentes, cuya tasa de fallo es única y agrupa a todos los mecanismos de fallos que caracterizan a dicho equipo, los datos de fallos disponibles para aerogeneradores están asociados a sus partes o subsistemas componentes.

Por ello, los árboles de fallos que se desarrollaron en el artículo parten de la segregación del aerogenerador en sus partes principales. No existen datos suficientes para segregar las partes principales en sus componentes. Otro aspecto que distingue a los árboles de fallos que se postularon para los aerogeneradores es que estos se han agrupado por parques de similar tecnología, y dentro de ellos se han considerado diferentes criterios de fallo. Por ejemplo, para el parque Gibara 2 objeto de investigación, el criterio de fallo adoptado será: 2 de 6 aerogeneradores de potencia 750 kW. Este criterio persigue como objetivo limitar la indisponibilidad permitida del parque a un aerogenerador, lo que significa que la política de explotación debe restringirse a la salida de servicio de sólo una máquina cada vez (ya sea por mantenimiento planificado o causas aleatorias de fallo).

Para la identificación de los elementos integrantes de cada máquina fue necesaria una compatibilización de la información donde se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes:

- Datos estructurales de los aerogeneradores (Goldwind para Gibara 2).
- Datos de fallos segregados por componentes para aerogeneradores [1].
- Datos de fallos recopilados en el parque de aerogeneradores de Gibara por código de alarma

De cada una de las fuentes reseñadas fue posible obtener información diversa y/o común, la que se fue compatibilizando.

Teniendo en cuenta los datos genéricos de fallos reportados por la AEE y el comportamiento de la tasa de rotura por año, es posible inferir que la tasa de rotura por aerogenerador para Enero del 2005 tuvo un valor de 0,5 año⁻¹[1].

Dada la tasa anual de falla global reportada, así como las fracciones de contribución que corresponden a cada componente del aerogenerador, se pudo deducir tasas anuales para cada componente, a modo de tasa genérica de fallo. Por la variedad de tecnologías representadas, se consideró que este valor promedio

de tasas es aplicable a las máquinas Goldwind. Por otra parte, el análisis detallado de los registros de fallos reportados por el parque Gibara 2 demostró que los mismos no estaban preparados en un formato adecuado para la tarea propuesta, lo que obligó a diseñar un procedimiento particular para su uso, con el objetivo de obtener tasas de fallos específicas por componente. En este se incluyeron:

- 1- Clasificación de las fallas por su parque correspondiente.
- 2- Segregación y análisis por tipo_causa 1, 2 y 3 (SEN, mantenimiento y resto, respectivamente)
- 3- Estudio del grupo Estado (Errores o Emergencia – Stop) y Causa (Alarma - Desconocida) por palabras claves de acuerdo a descripción.
- 4- Contabilización de palabras claves y adición al dispositivo asociado, o de tiempos fuera de servicio, si se trata de tipos-causa SEN y mantenimiento.
- 5- Cálculo de tasas de fallos (para Tipo_ causa 3) o indisponibilidad (para Tipo_ causa 1 y 2).

Para el cálculo de las tasa de fallo se usó la ecuación (1).

$$\lambda_{\text{anual}} = NF/T_{\text{observ.}} \quad (1)$$

donde: λ_{anual} es la tasa anual de fallos específica, NF es cantidad de fallos reportados en el período, T_{observ} es el tiempo de observación (en horas). Finalmente, de la comparación entre las tasas de fallo genérica y específica, se dedujo la mayor, que fue la utilizada en el análisis. El ajuste bayesiano no fue aplicado dada la carencia de datos de distribuciones probabilista y otros necesarios para esta aplicación.

Otros datos a tener en cuenta fueron las contribuciones de indisponibilidad asociadas a eventos externos de carácter antropogénico o natural. La ecuación (2), fue la utilizada para los análisis de indisponibilidades por mantenimientos, eventos externos y asociadas al sistema eléctrico, o sea por causas externas, donde Q es la indisponibilidad y $T_{\text{indisponible por máquina}}$ es el tiempo de indisponibilidad por máquina, fue la siguiente:

$$Q = T_{\text{indisponible por máquina}}/T_{\text{observ}} \quad (2)$$

RESULTADOS

- El árbol de fallos para el sistema del parque eólico de Gibara 2 es el mostrado en la figura 3.
- El subárbol de fallos Máquina #, representado en la figura 3, se repite para cada máquina sustituyendo el carácter # por el correspondiente número del aerogenerador modelado.
- La base de datos de confiabilidad utilizada en el estudio se muestra en la tabla 1.
- Los datos de confiabilidad aplicados a cada componente correspondieron, fundamentalmente, a los obtenidos de la fuente específica del emplazamiento.

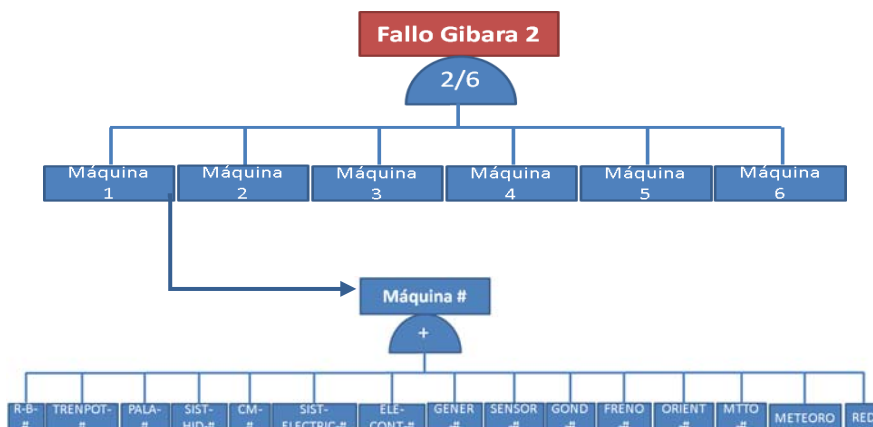


Fig. 3. Árbol de fallos para parque aerogenerador de Gibara 2

Tabla 1. Base de datos de confiabilidad

No	Componentes Principales	Código genérico	Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)
1	Rotor + Buje	R-B	2,85E-6
2	Tren de Potencia	TREN POT	1,14E-6
3	Palas	PALA	5,7E-5
4	Sistema Hidráulico	SIST-HID	1,71E-4
5	Caja Multiplicadora	CM	9,51E-5
6	Sistema Eléctrico(otros)	SIST-ELECT	1,9E-5
7	Electrónica de Control	ELE-CONT	4,8E-3
8	Generador	GENER	2,28E-6
9	Sensores	SENSOR	5,71E-6
10	Góndola	GOND	2,28E-6
11	Sistema de Frenos	FRENO	2,28E-6
12	Sistema de Orientación	ORIENT	1,9E-5
13	Mantenimiento	MTTO	Q=2,4E-3
14	Manipulación o afectación de red	RED	Q=1,7E-2
15	Meteorológicos	METEORO	Q=4,2E-2

Aplicando los modelos de confiabilidad adecuados a cada caso, y utilizando las tasas de fallos reportadas en la tabla, se determinaron las probabilidades de fallo asociadas a cada componente. Un fragmento de los resultados para los primeros conjuntos mínimos de corte (combinaciones mínimas de fallo de componentes que conducen al fallo del parque - CMC) obtenidos para el parque Gibara 2 se muestra en las figuras 4 y 5.

Psist = 3.22E-01

No.CMC	CMC [por #]	CMC [por código]	Prob. CMC	%	Acum. Prob.	Acum. %
1	15	METEORO	4.20E-02	13.01	4.20E-02	13.01
2	14	RED	1.70E-02	5.26	5.90E-02	18.27
3	22 7	ELE-CONT-2 ELE-CONT-1	1.44E-02	4.46	7.34E-02	22.73
4	35 7	ELE-CONT-3 ELE-CONT-1	1.44E-02	4.46	8.78E-02	27.19
5	48 7	ELE-CONT-4 ELE-CONT-1	1.44E-02	4.46	1.02E-01	31.65
6	61 7	ELE-CONT-5 ELE-CONT-1	1.44E-02	4.46	1.17E-01	36.11

Fig. 4. Resultados para los primeros conjuntos mínimos de corte (CMC)

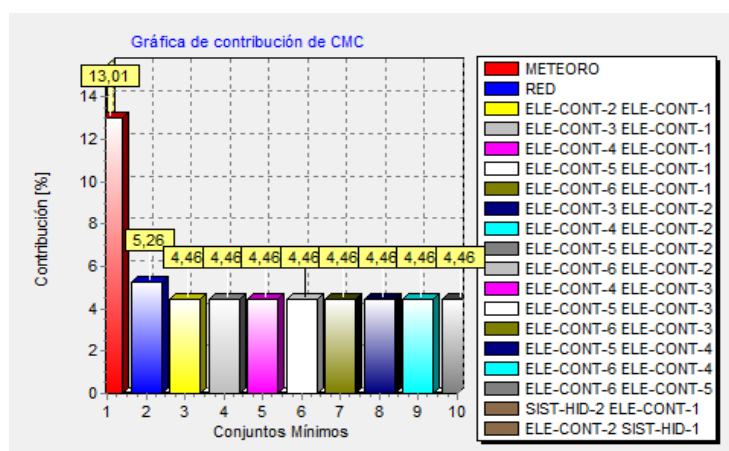


Fig. 5. Histograma de resultados por CMC

Al aplicar la medida de importancia Fussell-Vesely (medida de contribución al fallo del sistema por componente - FV), se obtiene la figura 6; que representada gráficamente ilustra lo mostrado en la figura 7:

NoComp.	Comp.	Código alfanumérico	FV ^{xxx}	RR'W	RA'W	Qmed.
1	7	ELE-CONT-1	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1
2	22	ELE-CONT-2	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1
3	35	ELE-CONT-3	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1
4	48	ELE-CONT-4	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1
5	61	ELE-CONT-5	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1
6	74	ELE-CONT-6	2.46E-01	1.32E+00	2.80E+00	1.20E-1

Fig. 6. Ordenamiento por importancia FV para el parque Gibara 2

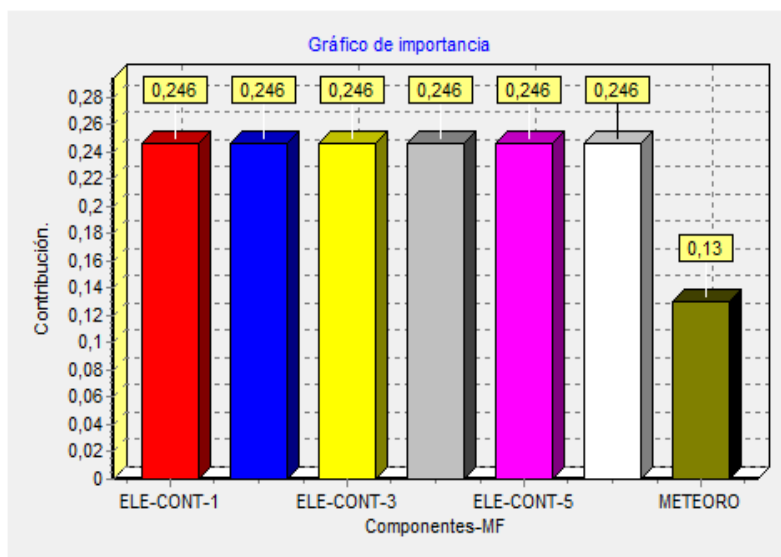


Fig. 7. Histograma por importancia FV para el parque Gibara 2

Con el objetivo de facilitar las aplicaciones de optimización al diseño o explotación del parque, se ha ejecutado la modelación de una sola de las máquinas. Lógicamente, los resultados para las restantes máquinas serán simétricos al mostrado.

La base fundamental de esta aplicación fue la tabla de conjuntos mínimos de corte, que en este caso coincide con la tabla de importancia FV. Para este caso la indisponibilidad resultante fue de alrededor de un 20 % (1,9E-1) por cada aerogenerador.

Con el objeto de preparar el modelo para comparaciones ulteriores se elaboró una versión del mismo eliminando las contribuciones de la red y de los fenómenos meteorológicos, obteniéndose para este caso una indisponibilidad de 1,3 E-1, o sea, 13 % para un aerogenerador.

Dada la complejidad limitada del estudio no fue necesario utilizar otras herramientas de análisis para optimizar los resultados.

Para ilustrar el ordenamiento de los contribuyentes se presenta el histograma de la figura 8.

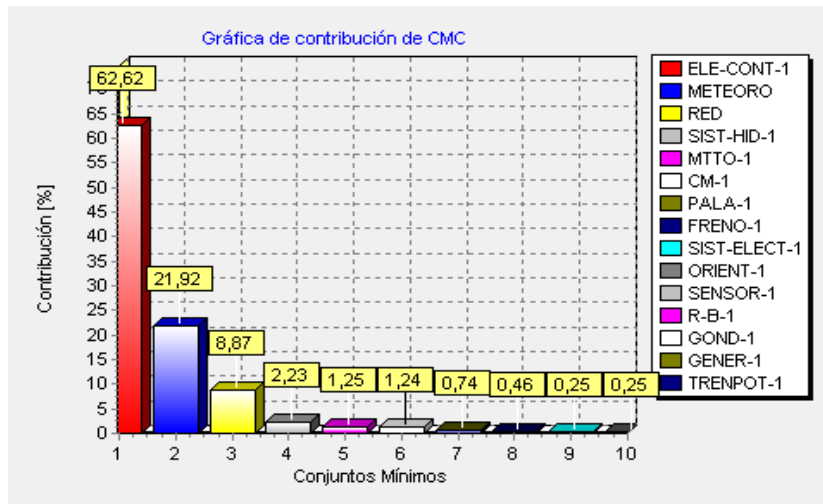


Fig. 8. Histograma de contribuyentes por importancia FV para una máquina

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La figura 4, muestra el resultado global de indisponibilidad, de donde se deduce que el parque se mantendrá 32 % del año con al menos 2 aerogeneradores fuera de servicio (considerando disponibilidad del viento durante todo el año). En este fragmento se observa que en cuanto a CMC, los primeros contribuyentes se deben a los eventos meteorológicos y los fallos de la red, seguidos de las combinaciones de fallos de la electrónica de control de, al menos, dos máquinas. Las combinaciones de fallos de la electrónica de control aportan el 67 % de la contribución a la probabilidad de fallo del parque, mientras que un 18 % está en las contribuciones de los eventos meteorológicos y las indisponibilidades de la red.

De acuerdo con la figura 6, que ofrece la contribución a la falla total del sistema (medida de importancia Fusell-Vesely -FV), son los fallos de la electrónica de control los mayores contribuyentes a los que siguen las causas meteorológicas y las debidas a la red.

El cálculo de indisponibilidad para una máquina en Gibara 2 muestra un valor cercano al 20 % (13 % sin considerar los fallos de la red y los eventos meteorológicos). Un índice de indisponibilidad por máquina de Gibara 1, pero calculado por razones de tiempos (tiempo disponible sobre duración horaria de un año) ha sido reportado por Moreno [3]. De acuerdo con este reporte, los coeficientes de disponibilidad técnica para el 2011 estaban entre 0,97 y 0,99, o sea, entre 0,03 (3 %) y 0,01 (1 %) de indisponibilidad. La realidad es que los niveles de indisponibilidad calculados en esta investigación muestran un alejamiento de los índices reportados en [3]. Es posible que el análisis detallado de la información reportada en el parque y su conversión a una base de datos de confiabilidad específica, nunca antes realizados, haya permitido arribar a este hallazgo.

El análisis de la figura 8 permite identificar que los mayores contribuyentes a la indisponibilidad de los aerogeneradores son:

- Fallo de la electrónica de control.
- Eventos meteorológicos que afectan al parque.
- Indisponibilidades de la RED (causas antropogénicas y externas).
- Sistema hidráulico.
- Mantenimiento planificado.
- Caja Multiplicadora.

A diferencia de la bibliografía consultada [1, 4], donde los contribuyentes fundamentales son elementos mecánicos y donde no se documenta un análisis de confiabilidad previo, en este artículo los principales contribuyentes son la electrónica de control y algunos aportes externos a las máquinas, quedando en un nivel de importancia menor los primeros elementos mecánicos. Dado este resultado, las primeras aplicaciones estarán dirigidas a resolver el importante flujo de señales falsas de los sistemas de control de

las máquinas. Una medida a tener en cuenta sería la de disminuir los niveles de sensibilidad de los sensores, vigilando a través de mediciones redundantes y diversas, los límites permisibles de los parámetros controlados.

Respecto a las incidencias en la RED, deberá trabajarse por incrementar la confiabilidad del SEN en las zonas de emplazamiento de los parques. Dado que a continuación comienzan a aparecer los elementos mecánicos entre los contribuyentes importantes, las técnicas de mantenimiento predictivo como análisis por vibraciones, análisis de aceite y termografía infrarroja, entre otras, serán las más recomendables. Esta sugerencia coincide con la bibliografía consultada [10].

La combinación de las sugerencias realizadas a los mayores contribuyentes a la indisponibilidad de los aerogeneradores permitirá diseñar programas de operación y mantenimiento de los parques, que reducirán los tiempos elevados fuera de servicio de los que actualmente adolecen estos equipos. Por ejemplo, la aplicación de técnicas de predictivo contribuirá a reducir los tiempos de mantenimientos de las máquinas y a evitar roturas que actualmente tributan a los tiempos de reparación [10].

CONCLUSIONES

En el artículo se destacan como aspectos importantes la aplicación del método de árbol de fallos a un parque eólico en Cuba partiendo de una clasificación de componentes que vincula la experiencia internacional y la disponibilidad de registros de fallos propios del parque.

Una particularidad del árbol de fallos preparado fue su configuración para considerar la salida de servicio de una máquina cada vez, lo que garantiza considerar una política de mantenimiento preventivo adecuada.

Destaca como particularidad en el artículo, la generación de un procedimiento para tratar los datos acopiados en el parque eólico y convertirlos en fuentes útiles para análisis de confiabilidad tecnológica.

Finalmente, los resultados del análisis muestran la preponderancia de los fallos de la electrónica de control y la participación prioritaria de los fallos debidos a eventos meteorológicos e indisponibilidad de la red. Estas particularidades orientan los esfuerzos de las aplicaciones en el parque de referencia hacia otras áreas de interés, que difieren de las experiencias obtenidas en análisis similares. Los hallazgos referidos a la electrónica de control han sido informados a entidades especializadas en Cuba (ICIMAF) en este ámbito, para su análisis detallado.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones derivadas del estudio pueden citarse, la necesaria extensión del mismo a los restantes parques de interés en el país (Gibara 1 y Los Canarreos). De hecho, en el marco del programa nacional de empleo de fuentes renovables de energía en Cuba, está previsto el estudio de los restantes parques eólicos del país. De descubrirse algunas particularidades de interés en los resultados, para las restantes tecnologías (Gamesa, modelo G52/850 para Gibara 1 o Vergnet, modelo GEV-MP 32/275 en Los Canarreos), las mismas constituirán una guía a tener en cuenta sobre las correspondientes debilidades. Las particularidades descubiertas en el estudio reflejado en este documento, así como las que puedan detectarse en los próximos análisis, deberán tenerse en cuenta en la selección futura del equipamiento, lo cual influirá positivamente en el desarrollo perspectivo de esta fuente renovable en Cuba.

REFERENCIAS

- [1] Castro M. Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador. Quito:Impregraf; noviembre 2011. p. 128. [Consultado el: 24 de noviembre de 2015]. Disponible en: http://www.amazonia-andina.org/sites/default/files/matriz_energetica_ecuador.pdf. ISBN 978-9942-9998-5-6
- [2] Colectivo de Autores. Eólica'12. Asociación Empresarial Eólica. 2012. [Consultado el: 5 de marzo de 2014]. Disponible en: http://www.aeeolica.org/uploads/documents/Anuario_AEE_2012_WEB.pdf
- [3] Oficina Nacional de Estadística e Información. Energía Renovable. Cuba 2011. Oficina Nacional de Estadística e Información. Agosto-2012. [Consultado el: 9 de septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.one.cu/publicaciones/04industria/energiarenovables/inventarionacional2011.pdf>

- [4] Moreno Figueredo, C. Energía Eólica. Tecnología y aplicaciones. La Habana, Cuba:Academia; 2011. p. 153. ISBN 978-959-270-210-3.
- [5] Del Campo Edelstein N. La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad. RIIT. 2009;X(4):343-352, México. [Consultado el: 24 de octubre de 2014]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-77432009000400006&script=sci_arttex. ISSN 1405-7743 FI-UNAM
- [6] Ortiz G, Marco A. Aplicación de Técnicas Probabilísticas al análisis de flujo de carga con generación distribuida de origen eólico. Caso Práctico: Sistema eléctrico isla de Margarita. Caracas, Venezuela. 2007. [Consultado el: 29-10-2014]. Disponible en: http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/733/1/TesisMarco_Ortiz.pdf
- [7] Torres A, Rivero J. Gestión de mantenimiento orientado a la seguridad. Revista Ingeniería Mecánica. 2004;7(2):7-15. [Consultado el: 5 de marzo 2014]. Disponible en: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-7/2-2004/01_7-15_Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento.pdf. ISSN 1815-5944.
- [8] Moreno Figueredo C, et al. Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica. La Habana, Cuba:Cubasolar; p. 335. 2007. ISBN 978-959-7113-34-8.
- [9] Plasencia A. Breve introducción a los sistemas de control de los aerogeneradores. Revista Control Cibernética y Automatización (CCA). 2013;1(2):22-32. [Consultado el: 10-05-2014]. Disponible en: http://www.icimaf.cu/revista_cca/sites/default/files/2.pdf. ISSN: 2312-5276.
- [10] Gíao Pajuelo V. Implementación de un sistema de mantenimiento predictivo de averías en el tren de potencia de un aerogenerador. Maestría en Mantenimiento Industrial y Técnicas de Diagnóstico. España:Universidad de Sevilla. Junio 2006.[Consultado el: 2 de junio de 2014]. Disponible en: http://www.gmingeneria.com/noticias/Masters_Mantenimiento_2010_11.pdf
- [11] Torres Valle A, Perdomo Ojeda M. Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Central Nuclear Embalse. Nucleus. 2010;(47):24-29. [Consultado el: 16 de diciembre de 2014]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100004&script=sci_arttext&lng=pt. ISSN 0864-084X

AUTORES

Antonio Torres Valle

Ingeniero en Energética Nuclear, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares. La Habana, Cuba.
e-mail: atorres@instec.cu

Erich Martínez Martín

Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares, La Habana, Cuba.
e-mail: erich@instec.cu