



CIENCIAS TÉCNICAS

Artículo original de investigación

Contribución al desarrollo nacional de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial

Fidel Ernesto Hernández Montero ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5003-2807>

Mario Luis Ruiz Barrios ² <https://orcid.org/0000-0001-7602-8948>

Juan Raúl Rodríguez Suárez ² <https://orcid.org/0000-0002-9328-4537>

Miguel Enrique Iglesias Martínez ² <https://orcid.org/0000-0003-1405-5099>

Joel Pino Gómez ¹ <https://orcid.org/0000-0003-3936-9115>

Vicente Atxa Uribe ³ <https://orcid.org/0000-0002-6402-412X>

Evelio Palomino Marín ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8143-8009>

Julio César Gómez Mancilla ⁴ <https://orcid.org/0000-0003-3870-3636>

Yasmany Prieto Hernández ² <https://orcid.org/0000-0002-6827-2657>

Andy Rodríguez Lorenzo ¹ <https://orcid.org/0000-0002-5305-872X>

Jorge Hernández Román ² <https://orcid.org/0000-0003-4091-300X>

Maité Hernández Soberao ² <https://orcid.org/0000-0003-0364-4226>

Ismel Domínguez Rodríguez ² <https://orcid.org/0000-0002-5247-0157>

¹ Universidad Tecnológica de La Habana. La Habana, Cuba

² Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba

³ Universidad de Mondragón. País Vasco, España

⁴ Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México

*Autor para la correspondencia: fhernandez@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

Revisores ^a

José Ramón Calvo de Lara
Centro de Aplicaciones de Tecnologías de
Avanzada. La Habana, Cuba

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Yoan Karell Acosta González
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

^a N. del E: En este apartado figuran los nombres de los árbitros que accedieron a revelar su identidad, como expresión de apertura progresiva del proceso de revisión por pares. No aparecen aquellos que optaron por el anonimato.

Introducción: En el contexto nacional existen sinnúmeros de espacios en los que la sustitución de importaciones y el logro de soberanía tecnológica no han podido ser alcanzados. El objetivo de este trabajo es presentar diferentes contribuciones al desarrollo propio nacional de tecnología orientada al monitoreo y diagnóstico industrial. **Métodos:** Los trabajos ejecutados se basaron en el conocimiento científico y tecnológico acumulado y se orientaron a la solución de problemas no resueltos desde el punto de vista científico y su contextualización al entorno industrial nacional. **Resultados:** Se obtuvieron desarrollos desde la concepción general de sistemas, hasta el desarrollo de soluciones concretas específicas, incluyendo el desarrollo de módulos electrónicos concretos y la implementación de análisis de vibraciones para la detección de fallos y diagnóstico. Conclusiones, los resultados demuestran que es posible el desarrollo de esta tecnología en Cuba, al más alto nivel.

Palabras clave: diagnóstico industrial; monitoreo de condición; tecnología electrónica; análisis de vibraciones; reconocimiento de patrones

Contributions to the national development of technology of industrial monitoring and diagnostics

ABSTRACT

Introduction: There are areas, in the current national context, where both the importation substitution and the technological independence can't be achieved. This work is focused on the presentation of different contributions to the national development of technology for industrial monitoring and diagnosis. **Methods:** The accomplished tasks were based on the cumulative scientific and technical knowledge and were focused to the solution of problems that have been remained unsolved and the adaptations of such solutions to the national industrial context. **Results:** Different system developments were achieved on the basis of general system conceptions and the solution of particular problems. The development of specific electronic modules and the implementation of different techniques for vibration analysis were covered. Conclusions, the results revealed that the highest level development of industrial monitoring and diagnosis technology is possible in Cuba.

Keywords: industrial diagnosis; machine condition monitoring; electronic technology; vibration analysis; pattern recognition

INTRODUCCIÓN

En nuestro país constituyen asunto de primer orden la sustitución de importaciones y el logro de soberanía tecnológica. En el contexto nacional existen sinnúmeros de espacios en los que estos fines no han podido ser alcanzados: o se utiliza tecnología básica, ya obsoleta, o se utiliza tecnología moderna importada. Uno de estos espacios es el monitoreo y diagnóstico industrial, el cual es vital para la implementación del mantenimiento predictivo, estrategia que eleva la productividad, reduce los costos, mejora el impacto ambiental y fortalece la seguridad operacional. Existen ejemplos de empresas cubanas (por ejemplo, centrales termoeléctricas, EMCE, centrales azucareros) que han aplicado tecnología foránea moderna de monitoreo y diagnóstico, adquirida a precios apreciablemente elevados, que no se encuentra adaptada a las características propias del contexto industrial nacional. Y, por otro lado, también existen muchas empresas, por ejemplo, del MINAL, del SIME, que no están utilizando la tecnología más actualizada.

En el siguiente trabajo se presentan diferentes contribuciones al desarrollo propio nacional de tecnología orientada al monitoreo y diagnóstico industrial, de modo que se tribute a la sustitución de importaciones y al logro de soberanía tecnológica.

Sobre la tecnología general de adquisición y procesamiento de señales

La tecnología general de adquisición y procesamiento de señales, en dependencia de la aplicación, puede involucrar el

trabajo en diferentes áreas: el manejo de sensores y el acondicionamiento de sus señales, la conversión analógica/digital, uso de plataformas de procesamiento y control (por ejemplo, basadas en microcontroladores, en FPGA, etc.), la interacción con el usuario (monitores VGA, pantallas gráficas LCD, teclado, panel táctil, etc.), la transmisión de los datos (aplicación de diferentes interfaces de comunicación, tales como bluetooth, ethernet, WiFi, etc.), el almacenamiento de datos (uso de diferentes tecnologías, tales como memorias USB, SD, etc.).

En caso de aprovecharse el uso de computadoras, también podría estar involucrado el desarrollo de *software* de interfaz con algún dispositivo de digitalización de la señal de sensores, el empleo de alguna plataforma informática de base de datos y la aplicación de técnicas de procesamiento de señales o información, entre otras. Sobre las técnicas de procesamiento de señales, es necesario mencionar que abarcan 3 grandes áreas: a) técnicas de preprocesamiento (por ejemplo, técnicas de reducción de ruido, filtrado, fusión de sensores, etc.); b) técnicas de extracción de características (por ejemplo, procesamiento estadístico de orden superior, análisis espectral, etc.); y c) técnicas de reconocimiento de patrones (redes neuronales artificiales, lógica combinatoria, etc.).

MÉTODOS

Los trabajos ejecutados se basaron en el conocimiento científico y tecnológico acumulado y se orientaron a la solución de problemas no resueltos desde el punto de vista científico y su contextualización al entorno industrial nacional. Los

desarrollos tecnológicos presentados se correspondieron con soluciones propias, adaptadas a las particularidades del contexto nacional. Las nuevas propuestas realizadas desde un enfoque más científico se basaron en las tendencias actuales internacionales relativas al desarrollo de algoritmos en el área específica del monitoreo y diagnóstico industrial, y fueron mejoradas fundamentalmente para que pudieran aplicarse con mayor efectividad o eficiencia.

RESULTADOS

Aportes al desarrollo de nuevos algoritmos de reducción de ruido (técnicas de preprocesamiento)

Con el objetivo de obtener implementaciones eficaces de tecnología de monitoreo y diagnóstico basada en el uso de sensores de aceleración de bajo costo (capacitivos), varios trabajos se propusieron buscando reducir el ruido que los caracteriza.

En uno de los trabajos se propuso, de manera novedosa, el empleo de redes neurales artificiales. En el procedimiento solo se trabaja con la señal contaminada con el ruido y se emplea una red perceptron multicapa FIR. ⁽¹⁾ La relevancia de este trabajo consiste en que para eliminar el ruido, la red neural "aprende" la estadística del mismo. Las redes neurales fueron implementadas en *hardware*, para lo cual se describió la arquitectura de perceptron multicapa FIR óptima, obtenida en Matlab, en VHDL, para descargarla en una FPGAXC3S1200E de Xilinx. Con ese trabajo se demostró la efectividad con que se podía aplicar las RNA para cancelar ruido. Se logró implementar en una FPGA la arquitectura de Perceptron Multicapa FIR que resultó eficiente en la tarea de reducción de ruido.

Otros resultados fueron obtenidos con la combinación de técnicas de procesamiento estadístico (2do orden y orden superior) con el procedimiento de convolución. En particular, se obtienen resultados efectivos al establecer dicha combinación utilizando, por un lado, cumulantes de cuarto orden ⁽²⁾ y, por otro lado, la primera derivada del espectro de potencia. ⁽³⁾ En el primer caso, además de demostrarse que el algoritmo en teoría es capaz de eliminar completamente el ruido gaussiano, resuelve el problema científico de la pérdida de la fase de una señal sinusoidal cuando se aplica el procesamiento estadístico de orden superior. En el segundo caso, enfocado a la eliminación del ruido con función de autocorrelación impulsiva (incluye el ruido gaussiano), los resultados se obtienen a un costo computacional mucho menor, pues se trabaja con características estadísticas de segundo orden. También se propone la implementación del primero de estos algoritmos en FPGA. ^(4,5)

Desarrollo de tecnología de adquisición, almacenamiento, transmisión de señales hacia computadora y su registro y gestión

En esta área se realizaron contribuciones desde la concepción general de sistemas, hasta el desarrollo de soluciones concretas específicas. Por ejemplo, se desarrolló un trabajo en el que se presentó una propuesta de sistema de monitoreo por condición de bajo costo para implementar en parques eólicos. ⁽⁶⁾

Otros trabajos, referidos a equipos electrónicos más completos, también fueron llevados a cabo. Se presentaron 2 experiencias: a) un sistema embebido, portable, basado en microcontrolador '51 para el registro de vibraciones; y b) un sistema controlado desde una computadora conectada a internet, para el monitoreo de la condición de motores eléctricos a través del registro de diferentes variables físicas (vibraciones, temperatura, tensión y corriente eléctricas). ⁽⁷⁾ Otra contribución también estuvo dada en la exploración de las posibilidades de los sistemas de lógica configurable para la digitalización y manejo de variables físicas empleando el procesamiento digital. ⁽⁸⁾ Entre las propuestas dirigidas a soluciones de problemas tecnológicos más específicos, se pueden mencionar los trabajos orientados a enfrentar el problema de poder transmitir hacia una computadora situada a una distancia considerable (mayor que la que admite la comunicación serie RS232) y utilizando tecnología de costo relativamente bajo, datos obtenidos digitalmente a través de plataformas basadas en microcontroladores. ^(9,10) Además, buscando resolver limitaciones existentes en dispositivos electrónicos desarrollados, para realizar de manera autónoma la visualización de datos y resultados de procesamiento, se desarrolló una solución que empleó una pantalla de cristal líquido o módulo LCD. ⁽¹¹⁾

También se propusieron trabajos relativos al desarrollo de *software* de gestión de variables de diagnóstico. Por ejemplo, se desarrolló un *software* para la gestión de la condición de los transformadores de potencia que permitiera gestionar la información necesaria para facilitar el diagnóstico de los transformadores. ⁽¹²⁾

Validación teórica o experimental de la aplicación de técnicas clásicas y avanzadas de procesamiento de vibraciones al diagnóstico de cojinetes y engranajes

Varios trabajos se desarrollaron en relación con la implementación y validación de técnicas clásicas y avanzadas de extracción de características aplicadas para detectar fallos en componentes electromecánicos a través del análisis de vibraciones. ⁽¹³⁻¹⁵⁾ En particular, uno de estos trabajos, relativo a la aplicación del procesamiento estadístico de tercer orden a

la detección de fallos en cojinetes de rodamientos, demostró desde la teoría la ineficacia que se obtendría al aplicar esta técnica, en contraposición a la extensa popularidad con que contaba su uso en esta tarea concreta. ^(16,17)

Respecto a la aplicación de nuevas de estas técnicas, destaca la propuesta de aplicación de procesamiento cicloestacionario avanzado a la detección de fallos en cojinetes de rodamientos. ^(18,19) Con este trabajo, entre otros aspectos, se utilizan cumulantes de segundo orden por primera vez, lo cual logró reducir la interferencia producida por determinados tipos de vibraciones (cicloestacionarias de primer orden) en el proceso de detección de fallos en cojinetes de rodamientos cuando se aplica el procesamiento cicloestacionario de segundo orden. Para demostrar las mejoras, fue creada una nueva función, nombrada función de razón de interferencia, la cual permitió cuantificar la medida en la que el resultado se acerca a la solución del problema.

Como parte de los esfuerzos dedicados a la obtención de algoritmos más efectivos de detección de fallos en cojinetes de rodamientos, se desarrolló una nueva propuesta orientada a la detección de modulaciones lineales, que demostró resultados superiores en comparación con el algoritmo del bispectro, tradicionalmente aplicado a la detección de fallos en cojinetes de rodamientos. ⁽²⁰⁾

Otra nueva propuesta se manifestó en la aplicación de un enfoque sincrónico de análisis de vibraciones para la detección de fallos en engranajes ⁽²¹⁻²⁴⁾ y cojinetes de rodamientos. ⁽²⁵⁾ Con este enfoque se presentó una técnica de detección de fallos engranajes que arrojó resultados más efectivos y de menor costo computacional que las ya publicadas hasta el momento. Además, de manera novedosa se propuso un algoritmo de detección de fallos en engranajes, cuya característica automática favorece su aplicación en sistemas de monitoreo continuo. Dentro de este algoritmo destaca un procedimiento novedoso de estimación de la velocidad de giro de ejes mecánicos en sistemas con engranajes; con este, se alcanza a resolver un problema universal de la detección de fallos: estimar la velocidad de giro instantánea. Este mismo algoritmo fue aplicado a la detección de fallos en cojinetes de rodamientos con resultados satisfactorios.

Diagnóstico de chumaceras de turbinas de vapor aplicando enfoques de inteligencia computacional

Respecto al desarrollo de técnicas de reconocimiento de patrones, por un lado, se aportaron contribuciones correspondientes a la selección de los rasgos más importantes para el diagnóstico de determinados fallos de chumaceras. ⁽²⁶⁻²⁸⁾ Los conjuntos de valores de las variables que soportan el trabajo corresponden a los datos almacenados en reportes de diag-

nóstico y mantenimiento de una termoeléctrica en explotación y las técnicas aplicadas son herramientas del enfoque lógico combinatorio. Los resultados alcanzados mostraron, entre otras consideraciones, que la relevancia de los rasgos cualitativos que se incorporaron a la descripción de los fallos es superior a la de los rasgos numéricos, lo cual nunca había sido identificado previamente. Precisamente la aplicación novedosa del enfoque lógico combinatorio permitió incluir variables no numéricas en el análisis matemático.

En este mismo contexto se alcanzó a realizar la identificación automática de fallos de Babbitt y holgura excesiva en chumaceras, empleando para ello rasgos extraídos del espectro de las vibraciones. ⁽²⁹⁾ Este trabajo constituye el primer estudio orientado a la detección de estos fallos en chumaceras cilíndricas operando en un ambiente industrial real.

Sobre la introducción y generalización de las contribuciones

Desde que se obtuvieron los primeros resultados, a inicios del año 2000, con el desarrollo de las primeras versiones de sistema de monitoreo y diagnóstico, se comenzaron a organizar encuentros de generalización, llevando a la materialización de cartas de intención y el inicio de contratos de investigación se comenzó a trabajar en su aplicación, a través de la ejecución de proyectos empresariales en Pinar del Río (por ejemplo, fábrica de repuestos, empresa cárnica, agromecánica, entre otros). Es obvio que no constituían empresas que pudieran materializar la generalización de una tecnología que no se produce en el país, aunque los trabajos demostraron la efectividad de los desarrollos. Por esta razón, solo se llegó a una introducción parcial de los resultados. En el año 2005 se inician gestiones con el MINAZ para desarrollar y generalizar sistemas de diagnóstico. En el 2006 esta coordinación se extendió a EMCE, UNE, pero existían dificultades con la disponibilidad de financiamiento. En el año 2007, bajo la concepción del MIC de promover la sustitución de importaciones y el logro de soberanía tecnológica, se aprueban 2 proyectos (también apoyados por el MES) para desarrollar tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial. De hecho, ese año, el grupo de expertos del Programa ramal de la electrónica dictaminó que la propuesta tiene impacto en el ahorro de los recursos energéticos dada su vinculación al diagnóstico de los propios equipos generadores, entre otras aplicaciones.

El equipo propuesto sustituye importaciones y cuenta con mercado nacional. En paralelo, a partir de los trabajos realizados en el marco de la red internacional iberoamericana SEDI-PRE-CYTED, ⁽³⁰⁾ iniciados en 2007, se alcanzaba el desarrollo de un sistema (figura 1) adaptado para ser introducido en el primer grupo de aerogeneradores emplazado en Gibara, Holguín.

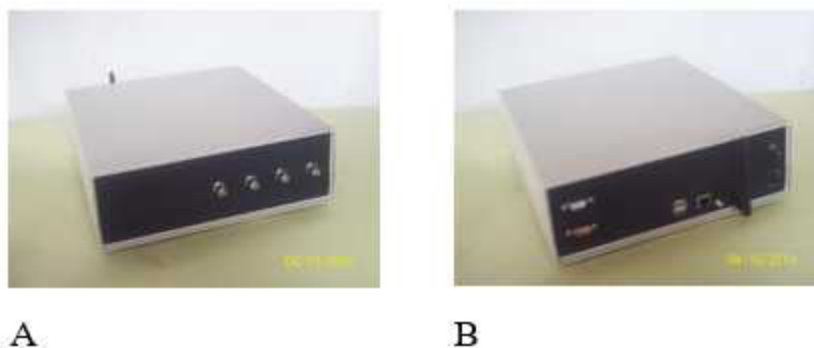


Fig. 1. Equipo desarrollado para monitoreo y diagnóstico de aerogeneradores de Gibara. A) Vista frontal. B) Vista opuesta.

Aún queda memoria de la brutal temporada ciclónica del 2008 que cernió al país, durante varios años, en una situación económica y social compleja. Años después, cuando se pudo recuperar, se procedió a la reorganización del sistema administrativo estatal (reestructuración de ministerios), así como el sistema nacional de ciencia e innovación tecnológica, quedando detrás la gestión de los proyectos antes mencionados. No obstante, se continuó con el desarrollo de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial, con resultados que continuaron siendo de interés de empresas, como la ECIE Cienfuegos, e incluso instituciones de otras esferas, como la Dirección Provincial del Salud (Pinar del Río).

En el marco de la convocatoria 2020 de los Programas Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación, en particular, en el PNCTI 05-Programa Nacional Desarrollo Energético Integral y Sostenible, se presentó y aprobó, y se encuentra en curso, el proyecto Desarrollo de Tecnología de Monitoreo y Diagnóstico Industrial, el cual ya ha recibido por parte de empresas nacionales diversas expresiones de interés en relación a su pertinencia. Se trabaja para que este arranque en los trabajos conduzca a su estructuración en la forma de Ciclo Científico-Productivo. El contexto es favorable a ello.

Conclusiones

Se ha presentado un grupo de contribuciones al desarrollo nacional de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial. Estas no solo han cubierto el aspecto tecnológico, abarcando prácticamente todas las áreas, sino también el aspecto científico, al aportarse diversas propuestas novedosas, interesantes y de nivel internacional. Estos resultados demuestran que es posible el desarrollo, al más alto nivel, de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial en Cuba, el cual hoy se encuentra en correspondencia con el nuevo paradigma de Industria 4.0 a través de su rama Mantenimiento Predictivo 4.0.

Los resultados avalan el reconocimiento nacional e internacional que se cuenta en esta esfera de la ciencia y la técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Prieto Y, Hernández FE, Novales A. Reducción de ruido aplicando redes neuronales artificiales. *Revista Investigación Operacional*. 2014;35(2):110-20.
2. Iglesias ME, Hernández FE. Detection of Periodic Signals in Noise Based on Higher-Order Statistics Joined to Convolution Process and Spectral Analysis. *Lecture Notes in Computer Science*. 2013;8258:488-95.
3. Hernández FE, Iglesias ME. An Approach to Detection of Periodic Signals In White Noise Based on Derivative of Power Spectrum and Convolution. *Revista Investigación Operacional*. 2019;40(4):551-7.
4. Iglesias ME, López BM, Hernández FE. Estimación de armónicos sobre FPGA aplicando estadística de orden superior y convolución. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*. 2013;2(34):48-62.
5. Iglesias ME, Hernández FE. Cancelación de ruido aplicando estadística de orden superior y sistemas multiprocesador sobre FPGA. En: CASE 2012 Libro de Trabajos. Argentina. Ed. Facultad de Ingeniería; 2012. p. 51-6.
6. Hernández FE, Ruiz ML, Rodríguez JR, Rolo A, Gerges S, Miguel LJ. Sistema de bajo costo para el monitoreo por condición a aplicar en parques eólicos. *Revista Ingeniería Energética*. 2011; 32(1):62-71.
7. Rodríguez JR, Ruiz ML, Hernández FE. Diagnóstico de fallos y dispositivos electrónicos de transportación. En: Casos de Estudio de Mantenimiento Industrial. Tratamiento y Recomendación. España. Ed. CARTIF; 2008. p. 101 – 23.
8. Domínguez I, Hernández FE, Ruiz ML. Sistema de digitalización de señal basado en FPGA y configurado utilizando Matlab. *Revista Científica*. 2010; 14(3):129-35.
9. Hernández FE, Celorio C. Acceso remoto a datos en plataforma ARM vía Ethernet. *Revista Telemática*. 2010;9(1):25-32.
10. Hernández J, León H, Hernández FE. Interfaz RS232-Ethernet basada en microcontrolador de red DS80C400. *Journal Científica*. 2013;17(3):121-31.

11. Pino J, Hernández AM, Vento Y, Hernández FE. Algoritmos para visualización a través de módulos LCD gráficos. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*. 2012;33(1):1-15.
12. Hernández M, Hernández J, Hernández FE. Sistema para la gestión de la condición de los transformadores de potencia. *Journal Científica*. 2013;17(2):83-88.
13. Hernández FE, Gutiérrez M. Enfoques del análisis de envolvente al procesamiento de vibraciones para el diagnóstico de maquinarias. *Revista Ingeniería Mecánica*. 2010;13(1):31-40.
14. Hernández FE, Atxa V. Técnicas clásicas y avanzadas de procesamiento de vibraciones al diagnóstico de cojinetes. Análisis experimental. *Revista Ingeniería Mecánica*. 2007;10(1):71-82.
15. Hernández FE, Palomino E, Atxa V, Ruiz ML. Análisis de vibraciones para el diagnóstico aplicando procesamiento estadístico de orden superior. *Revista Ingeniería Mecánica*. 2004;7(2):75-80.
16. Hernández FE, Caveda O, Atxa V, Altuna J. Application of Higher-order Statistics on Rolling Element Bearings Diagnosis. En: T. Sobh, K. Elleithy, A. Mahmood, M. Karim. *Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications*. Holanda. Ed. Springer; 2007. 145-9 p.
17. Hernández FE, Caveda O. The application of bispectrum on diagnosis of rolling element bearings: a theoretical approach. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2008;22(3):588-96.
18. Hernández FE, Caveda O. Consideraciones para la aplicación del procesamiento cicloestacionario avanzado al diagnóstico de cojinetes de rodamientos. *Revista Ingeniería Mecánica*. 2007; 10(2): 41-46.
19. Hernández FE, Atxa V, Palomino E, Altuna J. On the Application of Cumulant-based Cyclostationary Processing on Bearings Diagnosis. En: T. Sobh, K. Elleithy, A. Mahmood, M. Karim. *Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications*. Holanda. Ed. Springer; 2007. 141-5p.
20. Hernández FE, Iturrospe A. Direct analysis of non-quadratic phase coupling for detection of linearly modulated signals. *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2015, San Diego, California*; 10/2015.
21. Ruiz ML, Hernández FE, Gómez JC, Palomino E. Tacho-less automatic rotational speed estimation (TARSE) for a mechanical system with gear pair under non-stationary conditions. *Measurement*. 2019;145:480-94.
22. Ruiz ML, Hernández FE, Palomino E, Gómez JC. Tacho-less Automatic Gear Fault Detection. *Revista Ingeniería Mecánica*. 2019; 22(1): 32-40.
23. Ruiz ML, Hernández FE, Gómez JC, Palomino E. Application of Lock-In Amplifier on gear diagnosis. *Measurement*. 2017;107:120-7.
24. Calzadilla A, Catalá A, Hernández FE, Rodríguez A, Ruiz ML. Assessing the monocomponent decomposition technique able to more accurately deliver the vibration produced by a gear. *Journal of Applied Research and Technology*. 2020;18:101-7.
25. Rodríguez A, Hernández FE, Ruiz ML. Automatic Detection of Rolling Element Bearing Faults to Be Applied on Mechanical Systems Comprised by Gears. En: Chaari F, Leskow J, Wylomanska A, Zimroz R, Napolitano A. (eds) *Nonstationary Systems: Theory and Applications*. WNSTA 2021. *Applied Condition Monitoring*, vol 18. Springer, Cham. 2022. 217-34.
26. Pino J, Hernández FE. Maintenance importance of mechanical elements and faults in steam turbines. Data history analysis. *Revista de Ingeniería Energética*. 2017;38(2):106-14.
27. Pino J, Hernández FE, Gómez JC. Variable Selection for Journal Bearing Faults Diagnostic Through Logical Combinatorial Pattern Recognition. *Lecture Notes in Computer Science*. 2018;11047:299-306.
28. Pino J, Hernández FE, Gómez JC. Selección de variables para el diagnóstico de fallos en chumaceras aplicando reconocimiento lógico combinatorio de patrones. *Ingeniare*. 2020;8(3):396-403.
29. Pino J, Hernández FE, Gómez JC, Villuendas Y. Identification of Babbitt Damage and Excessive Clearance in Journal Bearings through an Intelligent Recognition Approach. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 2021;12(4):526-33.
30. Proyecto SEDIPRE CYTED [Internet]. 2020; [citado Ago 2020]. Disponible en: http://www.cytmed.org/?q=es/detalle_proyecto&un=364&lang=es

Recibido: 04/08/2022

Aprobado: 08/11/2022

Agradecimientos

Se desea agradecer a las instituciones y agencias que aportaron financiamiento a algunas de las investigaciones presentadas. Deseamos agradecer también a los siguientes colegas especialistas por su contribución a los resultados presentados: Oscar Caveda Medina, Humberto León Olivera, Alfredo Novales Ojeda, Alberto Rolo Naranjo, Samir L.J. Gerges, Luis Javier de Miguel, Bárbaro M. López, Carlos Celorio, Ailyn Hernández, Yosvany Vento, Michel Gutiérrez, Jon Altuna, Aitzollturrospe, Yenny Villuendas Rey, Ariel Calzadilla Ayuso, Ariel Catalá, Sergio, Jesús Fernández García, Mara Concepción Álvarez, Wilfredo Falcón Urquiaga y Sarel Ginarte Díaz. De manera especial este trabajo está dedicado a la memoria del profesor Juan Raúl Rodríguez Suárez y al aniversario 21 del Grupo de Investigación para el Diagnóstico Avanzado de Maquinaria (GIDAM).

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Juan Raúl Rodríguez Suárez, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao, Vicenta Atxa Uribe

Curación de datos: Fidel Ernesto Hernández Montero, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández

Análisis formal: Fidel Ernesto Hernández Montero, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo

Adquisición de fondos: Fidel Ernesto Hernández Montero, Vicenta Atxa Uribe

Investigación: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Juan Raúl Rodríguez Suárez, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto

Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao, Ismel Domínguez Rodríguez

Metodología: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Joel Pino Gómez

Administración del proyecto: Fidel Ernesto Hernández Montero

Recursos: Vicenta Atxa Uribe

Software: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao

Supervisión: Fidel Ernesto Hernández Montero, Juan Raúl Rodríguez Suárez, Vicenta Atxa Uribe

Validación: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Juan Raúl Rodríguez Suárez, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao, Ismel Domínguez Rodríguez

Visualización: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao, Ismel Domínguez Rodríguez

Redacción-borrador original: Fidel Ernesto Hernández Montero, Mario Luis Ruiz Barrios, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Joel Pino Gómez, Andy Rodríguez Lorenzo, Yasmany Prieto Hernández, Jorge Hernández Román, Maité Hernández Soberao, Ismel Domínguez Rodríguez

Redacción-revisión y edición: Fidel Ernesto Hernández Montero, Juan Raúl Rodríguez Suárez, Evelio Palomino Marín, Vicenta Atxa Uribe, Julio César Gómez Mancilla.

Financiamientos

Algunas de las investigaciones presentadas recibieron financiamiento de las siguientes instituciones y agencias: Ministerio de Educación Superior (MES), Fondos de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada bajo el código PN211LH005-024, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Universidad de Mondragón, España; (CARTIF) España; (CAPES) Brasil

Cómo citar este artículo

Hernández Montero FE, Ruiz Barrios ML, Rodríguez Suárez JR, Iglesias Martínez ME.

et al. Contribución al desarrollo nacional de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial. An Acad Cienc Cuba [internet] 2023 [citado en día, mes y año];13(2):e1282. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1282>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

