

MÉTODOS RELACIONADOS CON DIAGNÓSTICOS DE FALLAS CON SÍNTOMAS IMPRECISOS MEDIANTE COMPARACIÓN DE CASOS

Carlos Lamedá

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Barquisimeto
clamedá@unexpo.edu.ve

RESUMEN. Los métodos relacionados con diagnósticos de fallas han ido evolucionando en las últimas tres (3) décadas, y actualmente es un campo activo de investigación. En este artículo se presenta una investigación documental sobre conceptos básicos para diagnósticos de fallas mediante comparación de casos, y sobre métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos mediante comparación de casos. Se presenta una síntesis sobre la importancia, definición y propósito del diagnóstico de fallas, una clasificación de métodos para diagnosticar fallas, y formas de realizar diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos basándose en la teoría de conjuntos borrosos y la comparación de casos previos con un caso nuevo a diagnosticar. Se ha encontrado que los estudios analizados no establecen claramente los criterios utilizados para la representación de los síntomas imprecisos mediante conjuntos borrosos. Además, los estudios han estado limitados en cuanto a los tipos de funciones de pertenencia utilizadas y al número de ejemplos empleados para validar los métodos propuestos.

Palabras clave: Diagnósticos de fallas, síntomas imprecisos, comparación de casos, conjuntos borrosos.

METHODS RELATED TO FAULT DIAGNOSIS WITH IMPRECISE SYMPTOMS BY CASE COMPARISON

ABSTRACT. The methods related with fault diagnosis have been evolving in the last three (3) decades, and currently is an active research field. In this paper a documental research on basic concepts for fault diagnosis by case comparison methods, and on methods related with fault diagnosis with imprecise symptoms is presented, with emphasis in the advances reached in the last five years. A summary of the importance, definition, purpose of fault diagnosis, and a classification of fault diagnosis methods are given. Besides, methods related with fault diagnosis with imprecise symptoms based on fuzzy set theory and comparison of previous cases with a new case to be diagnosed, are shown. It has been found that in the papers analyzed, they have not established clearly the criteria employed for representing imprecise symptoms using fuzzy sets. Also, the studies have been limited with respect to the membership function types used and the number of examples employed to validate the proposed methods.

Keywords: Fault diagnosis, imprecise symptoms, case comparison, fuzzy sets.

1. INTRODUCCIÓN

El área de diagnóstico de fallas es un aspecto importante en ingeniería de procesos, no sólo desde el punto de vista de seguridad sino también para el mantenimiento de la productividad y la calidad en los procesos [1]. De forma general, se puede concebir el problema de la diagnosis como un proceso en el que a partir de observaciones se generan hipótesis capaces de explicar un funcionamiento anómalo para seleccionar las acciones de reparación [2]. El diagnóstico de fallas busca identificar la causa principal de un funcionamiento defectuoso en un sistema, basado en observaciones externas [3].

Frecuentemente se encuentran situaciones en las que una falla está descrita por varios síntomas expresados en forma imprecisa, por ejemplo, “presión baja”, “humedad alta” y “temperatura cercana a los 40°C”. La representación de estas formas de imprecisión y sus relaciones pueden ser abordadas basándose en la teoría de conjuntos borrosos [4] y la lógica borrosa [5]. Relacionado con estas disciplinas se encuentra el estudio de medidas de comparación entre conjuntos borrosos y su aplicación en el manejo de datos con atributos representados mediante conjuntos borrosos. En muchos casos, los atributos imprecisos pueden ser representados utilizando conjuntos borrosos parametrizables y la comparación puede ser realizada aplicando conceptos y técnicas de teoría de conjuntos borrosos. Surge entonces la siguiente pregunta: ¿Cómo se pueden realizar diagnósticos de fallas que tengan síntomas imprecisos, utilizando comparaciones entre un caso nuevo y otros casos encontrados previamente?

En este artículo se presenta una investigación documental, con sentido crítico, sobre métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos mediante comparación de casos. Se plantean como objetivos de la investigación: 1) establecer conceptos básicos sobre diagnósticos de fallas mediante comparación de casos con atributos imprecisos, y 2) analizar métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos mediante comparación de casos.

En este trabajo se resume información sobre métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos, se discuten resultados presentados en artículos analizados, y se establecen recomendaciones que pueden servir de base para futuras investigaciones. Su

lectura puede ayudar a comprender los fundamentos de algunas técnicas para realizar diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos, y estimular la realización de nuevas investigaciones sobre el tema estudiado.

En la siguiente sección se presenta la metodología utilizada, reseñando el tipo de investigación que se lleva a cabo y los procedimientos empleados. Se continúa con una sección de resultados en la que se presenta la revisión bibliográfica y se abordan temas sobre conceptos básicos para diagnósticos de fallas mediante comparación de casos, y sobre métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos mediante comparación de casos. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones sobre el tema tratado.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo corresponde a la modalidad de investigación documental. La misma se sustenta en un proceso de acopio de información, organización, análisis crítico, reflexión, interpretación y síntesis de referencias, para lo cual se realizó una delimitación del tema, así como una revisión extensa de la literatura reciente en medios impresos y digitales, a fin de identificar investigaciones previas y obtener una perspectiva amplia en el tema de estudio. Se recopilaron más de 100 publicaciones, de las cuales se seleccionaron 25 como las más resaltantes. Dentro de las obras consultadas, algunas se enfocan en presentar terminología usada en diagnósticos, fundamentos y marcos de referencia para analizar métodos y sistemas de diagnósticos y artículos de revisión sobre técnicas y métodos de detección y diagnóstico de fallas [1-18]; mientras que otras presentan técnicas específicas que de alguna forma están relacionadas con el tema de estudio [19-25].

3. RESULTADOS

Revisión bibliográfica sobre fundamentos y métodos de diagnósticos de fallas

En la tabla 1 se presenta una síntesis de algunos aspectos básicos sobre diagnósticos de fallas.

Tabla 1. Síntesis de algunos aspectos básicos sobre diagnósticos de fallas.

Aspecto básico sobre diagnóstico de Fallas	Afirmación, argumento.	Referencias
Importancia	<p>Ayuda a la seguridad y al mantenimiento de la productividad y la calidad en los procesos.</p> <p>Permite que los equipos y sistemas utilizados operen en buenas condiciones. Ayuda a fabricar productos de alta calidad, reducir la cantidad de productos rechazados, y satisfacer las regulaciones ambientales y de seguridad cada vez más estrictas. Contribuye a la reducción de los costes de mantenimiento y reparación, el mejoramiento de la productividad y el aumento de la seguridad y disponibilidad de los procesos industriales.</p>	[1], [6], [7], [8]
Definición	Proceso mediante el cual se desea establecer el tipo de falla que ha ocurrido, para luego realizar las acciones correctivas que sean necesarias. Consiste en identificar o determinar la naturaleza y causa básica de un problema, a partir de síntomas resultantes de medidas seleccionadas, chequeos o pruebas. A partir de observaciones genera hipótesis capaces de explicar un funcionamiento anómalo para seleccionar las acciones de reparación.	[2], [9], [10]
Propósito del diagnóstico de fallas	Busca identificar la causa principal de un funcionamiento defectuoso en un sistema, basado en observaciones externas.	[3], [11]

Debido a la gran extensión del problema de diagnóstico de fallas en procesos y las dificultades en su solución en tiempo real, se han desarrollado a través de los años varios enfoques apoyados en el computador. Se han realizado diversas investigaciones sobre diagnósticos de fallas, que van desde métodos analíticos a inteligencia artificial y enfoques estadísticos ([7], [13], [14]). Desde una perspectiva de modelado, hay métodos que

requieren modelos exactos del proceso, modelos semi-cuantitativos o modelos cualitativos. En el otro final del espectro, hay otros métodos que no asumen forma alguna acerca de la información sobre el proceso y se basan sólo en datos históricos sobre el proceso. Además, dado el conocimiento sobre el proceso, hay diferentes técnicas de búsqueda que pueden ser aplicadas para realizar el diagnóstico. Los métodos de diagnosis se pueden clasificar en tres categorías generales: métodos basados en modelos cuantitativos, métodos basados en modelos cualitativos, y métodos basados en la historia del proceso.

De acuerdo a Juárez y Palma (2008) [9] un caso a diagnosticar se puede describir mediante un conjunto de síntomas que definen el problema. En la mayoría de las ocasiones, los problemas que describen los casos están compuestos por un conjunto finito de síntomas o condiciones de operación, quedando descrito el problema por los valores que toman dichos síntomas. El problema descrito en un caso se puede considerar como un vector que contiene los valores que toman dichos síntomas, problema = (s_1, s_2, \dots, s_n) . Estos síntomas pueden ser cuantitativos o cualitativos, dependiendo de la naturaleza del problema. La tarea de diagnóstico consistirá en la búsqueda de un caso similar en una librería de casos o almacén donde se guarden las experiencias pasadas que puedan ser aplicadas a problemas nuevos, como se ilustra en la Figura 1.

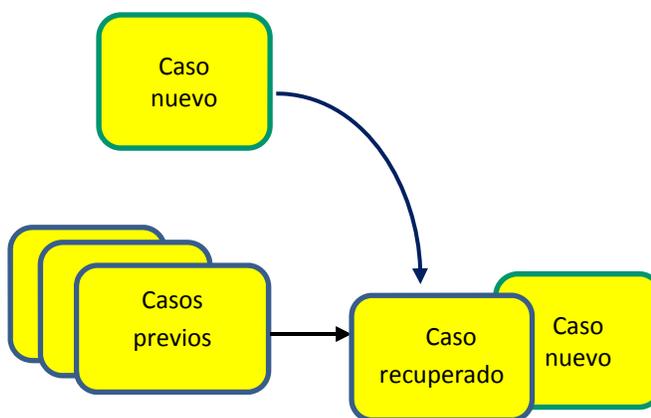


Figura 1. Representación sobre la forma como se busca un caso previo similar a un caso nuevo.

Para llevar a cabo esta tarea resulta indispensable establecer una manera de medir computacionalmente la similitud entre casos. La medida de similitud puede interpretarse como el grado de cercanía existente entre síntomas que componen el caso, y que permiten cuantificar sus correspondencias parciales. Por lo tanto, las medidas de similitud pueden ser utilizadas para cuantificar cuán similares son los casos. Una forma de definir la similitud entre casos consiste en la determinación de la similitud de los atributos o características de los casos.

Entre las características deseables que un sistema para diagnóstico de fallas pudiera tener están las capacidades de: detección y diagnóstico temprano; discriminar entre diferentes fallas; robustez ante ruido e incertidumbre; decidir si la causa de la falla es conocida o desconocida; identificar múltiples fallas; proveer explicaciones sobre cómo la falla se originó y se propagó; adaptarse a cambios en condiciones de operación y aumentar su ámbito de aplicación cuando hay más información disponible [12]. Además los requerimientos computacionales y de almacenamiento deben ser razonables.

La actividad de diagnóstico comprende dos componentes importantes: un conocimiento a priori del dominio, y una estrategia de búsqueda [13]. El conocimiento a priori que se necesita para el diagnóstico de fallas es un conjunto de fallas y la relación entre las observaciones (síntomas) y las fallas. Un sistema de diagnóstico puede tenerlos en forma explícita (en una tabla de consulta), o puede ser inferida a partir de alguna fuente de conocimiento del dominio. Un conocimiento a priori del dominio puede ser desarrollado a partir de un conocimiento fundamental usando principios básicos (conocido como conocimiento profundo, causal o basado en modelos), o puede ser obtenido a partir de experiencias pasadas con el modelo (conocido como conocimiento compilado, basado en evidencias, superficial o basado en historial). Los métodos de diagnóstico difieren no solo en la forma en que el conocimiento es utilizado sino también en la forma del conocimiento requerido.

En [14] se discuten métodos basados en el conocimiento histórico del proceso. Además, se comparan varias metodologías, en términos de características deseables presentadas en [7]. El estudio comparativo revela que no hay un método único que posea todas las características deseables para un sistema de diagnósticos. Los autores sugieren que los

métodos pudieran complementarse entre sí, creando sistemas híbridos para obtener mejores sistemas de diagnóstico, que permitan superar las limitaciones de las estrategias de solución individuales. Además discuten retos técnicos en investigación y desarrollo que necesitan ser abordados para el diseño e implementación exitosos de sistemas prácticos inteligentes de control supervisor para industrias de procesos. La Figura 2 muestra una clasificación de los métodos de diagnóstico basada en la forma del conocimiento del proceso.

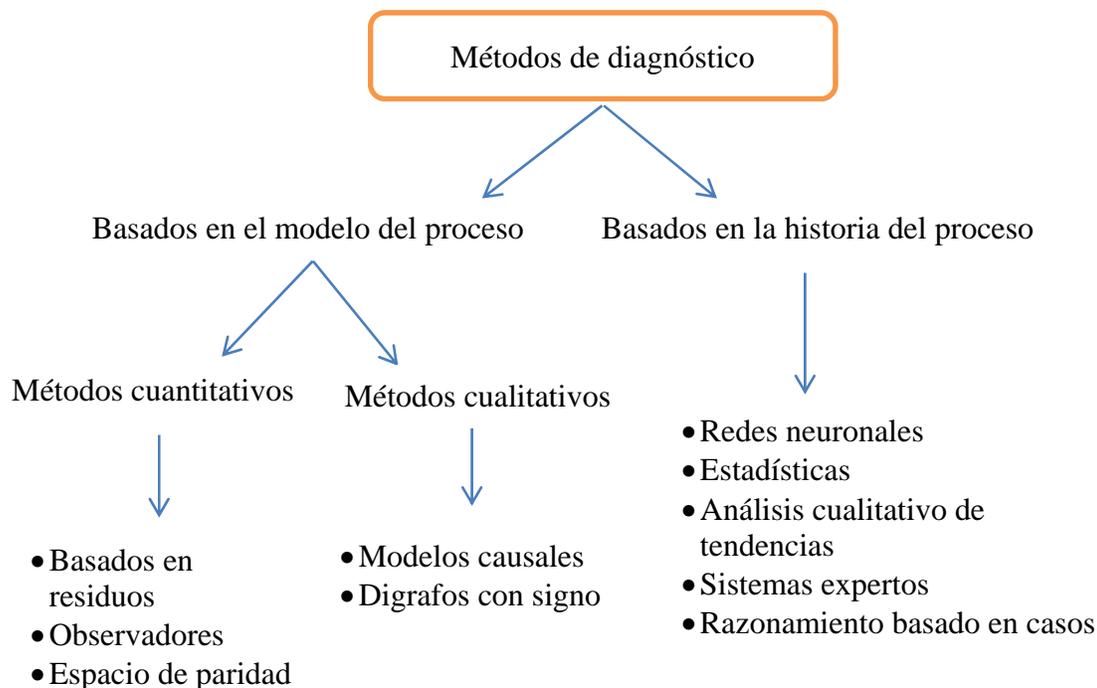


Figura 2. Clasificación de los métodos de diagnóstico basada en la forma del conocimiento del proceso.

Desde el punto de vista de la aplicación industrial, el máximo número de aplicaciones de diagnósticos de fallas en procesos industriales está fundamentado en enfoques basados en la historia de procesos. Esto se debe al hecho de que son fáciles de implementar, requiriendo muy poco esfuerzo de modelado y conocimiento a priori. Además, aún para procesos en los que están disponibles modelos, los modelos son usualmente modelos de estado estable. Se requeriría un considerable esfuerzo para desarrollar modelos dinámicos especializados hacia aplicaciones de detección de fallas.

Los enfoques basados en conocimiento tal como son implementados en sistemas de razonamiento automatizado incorporan heurísticas y razonamiento, lo cual involucra información incierta, en conflicto, y no cuantificable. Las tecnologías de inteligencia artificial que están asociadas con enfoques basados en conocimiento y que han sido adoptados para monitorización, control y diagnosis incluyen sistemas expertos, lógica borrosa, aprendizaje de máquinas y reconocimiento de patrones.

Dentro de las disciplinas que pueden ayudar a crear una metodología eficiente para diagnósticos de fallas se encuentra la Inteligencia artificial (IA), que se dedica a tareas y métodos para los que en la actualidad sólo se dispone de descripciones poco claras, incompletas, imprecisas y con alto grado de dudas y errores potenciales, debido a su complejidad (Mira, 2008. p. 3) [15]. Según Sciavico (2008) [16], el objetivo de la IA es la construcción de sistemas, tanto hardware como software, que sean capaces de replicar aspectos de lo que se suele considerar inteligencia; las diversas técnicas y disciplinas de esta disciplina tienen en común el problema de la representación del conocimiento. El área de la IA trata diferentes sub-áreas, entre las cuales incluye el manejo de la incertidumbre, la toma de decisiones bajo imprecisión e incertidumbre, y el razonamiento.

En [17] se describen fundamentos teóricos, algoritmos, aplicaciones e infraestructura de implantación de algunas metodologías y tecnologías utilizadas para detección y diagnóstico de fallas en procesos industriales, entre ellos las aplicaciones de redes neuronales, lógica borrosa y sistemas expertos. Con respecto a las redes neuronales se señala que se aplican para detectar y diagnosticar fallas cuando se tiene definidos los patrones (con fallas) de las variables del proceso, y cuando no es posible obtener el desacoplamiento del vector de fallas. Con respecto a la lógica borrosa, expresan que se aplica si se cuenta con la información suministrada por el experto en el proceso o equipos al cual se necesita detectar y diagnosticar las fallas. Señalan que los sistemas expertos se aplican en aquellos sistemas que cuentan con una base de conocimiento sobre el dominio del proceso, y cuando se tienen mecanismos de razonamiento para aplicar el conocimiento suministrado en las bases de datos para responder a las fallas que se presentan.

Métodos relacionados con diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos mediante comparación de casos.

Según [18], el problema del modelado del razonamiento humano en sistemas de IA es muy actual, e incluye los métodos y modelos de Razonamiento Basado en Casos (RBC), en los que casos precedentes pueden resolver distintos tipos de problemas, entre ellos los de diagnóstico. Se pueden diseñar sistemas de RBC implementados en computadoras con el objeto de desarrollar modelos más flexibles de búsqueda y aprendizaje de soluciones. El RBC que se aprecia en la figura 3 se implementa mediante el siguiente ciclo de actividades:

- ✓ **Recuperar** el caso o casos más similares.
- ✓ **Reutilizar** la información y el conocimiento de ese caso para resolver el problema.
- ✓ **Revisar** la solución propuesta.
- ✓ **Retener** nuevos casos, guardando partes de la experiencia que se consideren útiles para resolver futuros problemas.

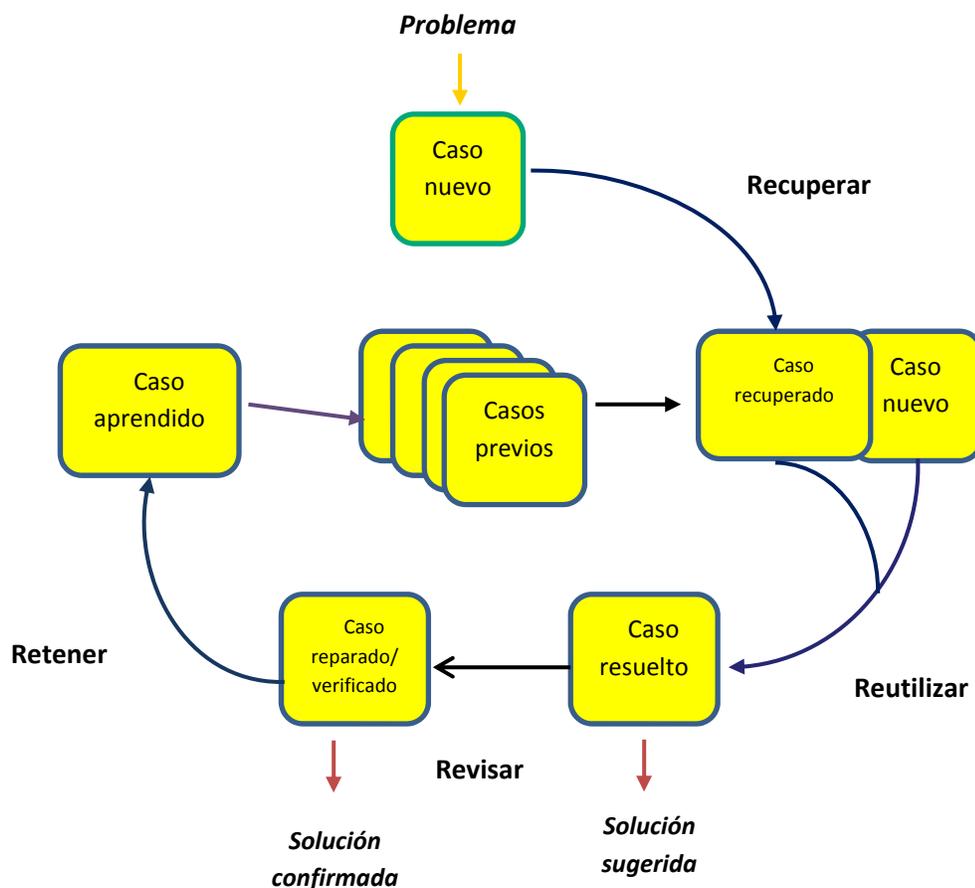


Figura 3. El ciclo de Razonamiento Basado en Casos.

Por otra parte, frecuentemente se encuentran situaciones en las que una falla está descrita por varios síntomas que son expresados en forma imprecisa, por ejemplo, presión baja, humedad alta y temperatura cercana a los 40°C. La representación de estas formas de imprecisión y sus relaciones pueden ser abordadas basándose en la teoría de conjuntos borrosos y la lógica borrosa. Relacionado con estas disciplinas se encuentra el estudio de medidas de comparación entre conjuntos borrosos y su aplicación en el manejo de datos con atributos representados mediante conjuntos borrosos (denominados atributos borrosos). La comparación de objetos con atributos imprecisos es una operación usual en diversas disciplinas y actividades, tales como ciencias físicas, procesamiento de imágenes, razonamiento basado en casos, consultas a bases de datos, clasificación de objetos y toma de decisiones (Bouchon-Meunier, Rifqui y Bothorel, 2008 [19]). Para realizar este tipo de comparación pueden utilizarse diversos métodos y técnicas según sea el tipo de problema a solucionar. En muchos casos, los atributos imprecisos pueden ser representados utilizando conjuntos borrosos y la comparación puede ser realizada aplicando conceptos y técnicas de teoría de conjuntos borrosos y lógica borrosa. Los conjuntos borrosos están relacionados con la definición de similitud debido a su capacidad de representar información subjetiva, resultante de la complejidad del mundo real y de la gradualidad inherente a su definición, en concordancia con el comportamiento natural de similitudes intuitivas (Bouchon-Meunier, 2007) [20]. Entre los trabajos sobre aplicaciones de lógica borrosa tenemos a Srinivasan y colaboradores (2011) [21], que presentan un sistema de diagnóstico de fallas basado en lógica borrosa para un desaereador. Los parámetros del sistema son obtenidos utilizando un modelo de espacios de estado generalizado linealizado. Se creó el Sistema de inferencias borrosas y la base de reglas se evaluó relacionando los parámetros al tipo y severidad de las fallas. Estas reglas son activadas para cambios específicos en los parámetros del Sistema y se diagnostican las fallas.

Al hacer una revisión bibliográfica relacionada con automatización de diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos y con la comparación de datos con atributos borrosos, se ha percibido que este tema está poco desarrollado. Existen algunos artículos técnicos y tesis que presentan información, Entre los más relevantes están [22, 23, 24 y 25]. Un análisis de estos trabajos se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de algunos trabajos relevantes.

Autores (año)	Denominación [referencia]	Descripción	Observación
Marques y otros (2009)	“Case-Based Reasoning and Fuzzy Logic in Fault Diagnosis” [22]	<p>Describen un sistema para detección de fallas mediante razonamiento basado en casos y lógica borrosa, que utiliza una forma general de descripción de observaciones el cual hace que el usuario describa casos relacionados con equipos hospitalarios.</p> <p>Indican que utilizaron la teoría de la posibilidad para manipular la información incierta.</p>	<p>No establecen los criterios utilizados para la representación de datos imprecisos mediante conjuntos borrosos.</p> <p>No establecen en forma específica la manera en que se utilizó la teoría de la posibilidad para manipular la información incierta.</p>
Bashon y otros (2010)	“A New Approach for Comparing Fuzzy Objects” [23]	<p>Proponen un modelo para comparar objetos imprecisos y realizan análisis de algunas propiedades del modelo de similitud. Los atributos de los objetos imprecisos son representados por conjuntos borrosos y se puede hacer uso de operaciones de conjuntos borrosos para el procesamiento de los mismos.</p>	<p>Proporciona un método para comparar objetos con contenido vago y/o borroso enfocado a brindar más apoyo al desarrollo de algoritmos de minería de datos.</p>
Bashon y otros (2011)	"Fuzzy Set Theoretical Approach for Comparing Objects with Fuzzy Attributes" [24]	<p>Utilizan algunos ejemplos para demostrar la eficacia de la utilización de este modelo cuando se utilizan conjuntos borrosos con funciones de pertenencia Gaussianas.</p>	<p>El estudio se limita al uso de conjuntos borrosos con funciones Gaussianas, y no permite generalizar para casos en los que sea más conveniente utilizar otro tipo de funciones, tales como las triangulares o las trapezoidales.</p>
El Bitar y otros (2012)	“A Logic and Adaptive Approach to Efficient Diagnosis Systems using CBR” [25]	<p>Presentan una solución basada en técnicas de lógica borrosa y medidas de adaptación que producen una agregación de similitudes ponderadas para mejorar los resultados de la identificación de casos previos que sean similares al caso nuevo.</p> <p>Proponen utilizar la teoría de la posibilidad para corregir datos imprecisos mediante ciertas fórmulas que permiten aproximar los valores de los descriptores imprecisos en el caso nuevo a aquellos de los descriptores correspondientes en los casos previos.</p>	<p>Como recomendación, para probar que esta solución permanece relevante debe probarse en varios dominios de aplicación, con tipos diferentes de descriptores.</p> <p>Sugieren desarrollar una estrategia de actualización para evolucionar los pesos de los descriptores de los casos guardados en la base de casos.</p>

4. CONCLUSIONES

A través de la presente investigación documental se han estudiado los fundamentos de algunas técnicas para realizar diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos, y discutido los resultados presentados en varios artículos analizados.

Los estudios analizados no establecen claramente los criterios utilizados para la representación de los síntomas imprecisos mediante conjuntos borrosos, ni la justificación para utilizar la teoría de la posibilidad para manipular información incierta. Además, los estudios han estado limitados en cuanto a los tipos de funciones de pertenencia utilizadas y al número de ejemplos empleados para validar los métodos propuestos.

Como recomendaciones, se propone:

- Continuar con el análisis de los requerimientos para mejorar la eficiencia en diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos basada en medidas de comparación de datos con atributos representados mediante conjuntos borrosos.
- Diseñar un método para mejorar la eficiencia en diagnósticos de fallas con síntomas imprecisos.
- Implementar un prototipo de sistema basado en el método diseñado.
- Probar el método diseñado mediante la aplicación del prototipo implementado en varios casos de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dash, S y Venkat Venkatasubramanian, V. Challenges in the Industrial Applications of Fault Diagnostic Systems. *Computers & Chemical Engineering* Volume 24, Issues 2–7. 2000. P. 785.
- [2] González, C. Diagnosis. En Palma, J. y Marín, J. (Eds.) *Inteligencia Artificial. Métodos, Técnicas y Aplicaciones*. McGraw-Hill, España. 2008. P. 473.

- [3] Feldman, A, Kalech, M y Provan, G. *Forewords*. Proceedings of The 24th International Workshop on Principles of Diagnosis, Jerusalem. 2013. P. v.
- [4] Zadeh, L. Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol. 8, New York: Academic Press. 1965. Pp. 338-353.
- [5] Klir, G. Uncertainty and Information. Wiley, New jersey, USA. 2006. Pp. 286, 287.
- [6] Chiang, L, Russell, E & Baatz, R. Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems. Springer. 2001. P. 3.
- [7] Venkatasubramanian, V, Rengaswamy, R, Yin, K, Kavuri, S. A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods. *Computers and Chemical Engineering*, N° 27. 2003. Pp. 293-311.
- [8] Bernal-de Lázaro, J, Prieto-Moreno, A, Llanes-Santiago, O, García-Moreno, E. Estudio comparativo de clasificadores empleados en el diagnóstico de fallos de sistemas industriales. *Ingeniería Mecánica*. Vol. 14. No. 2. 2011. Pp. 87-98.
- [9] Juárez, M y Palma, J. Razonamiento Basado en Casos. En Palma, J. y Marín, J. (Eds.) *Inteligencia Artificial. Métodos, Técnicas y Aplicaciones*. McGraw-Hill, España. 2008. P. 943.
- [10] Travé-Massuyès, L. Bridging control and artificial intelligence theories for diagnosis: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 27, January 2014. 2014. Pp 1–16.
- [11] Fenton, W, McGinnity, T y Maguire, L. Fault Diagnosis of Electronic Systems Using Intelligent Techniques: A Review. *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, Vol. 31, No. 3, August 2001. Pp. 269-281.

- [12] Dash, S y Venkatasubramanian, V. Challenges In the Industrial Applications of Fault Diagnostic Systems. *Computers & Chemical Engineering*. Volume 24, Issues 2–7. 2000. Pp. 785–791.
- [13] Venkatasubramanian, V, Rengaswamy, R, Kavuri, S. A review of process fault detection and diagnosis Part II: Qualitative models and search strategies. *Computers and Chemical Engineering*. N° 27. 2003. Pp. 313-326.
- [14] Venkatasubramanian, V, Rengaswamy, R, Kavuri, S, Yin, K. A review of process fault detection and diagnosis Part III: Process history based methods. *Computers and Chemical Engineering*, N° 27. 2003. Pp. 327-346.
- [15] Mira, J. Aspectos conceptuales de la Inteligencia Artificial y la Ingeniería de Conocimiento. En Palma, J. y Marín, J. (Eds.). *Inteligencia Artificial. Métodos, Técnicas y Aplicaciones*. McGraw-Hill, España. 2008. P. 3.
- [16] Sciavico, G. Lógica y representación del conocimiento. En Palma, J. y Marín, J. (Eds.) *Inteligencia Artificial. Métodos, Técnicas y Aplicaciones*. McGraw-Hill, España. 2008. Pp. 33-34.
- [17] Aranguren, S y Tarantino, R. Metodologías y Tecnologías de Detección y Diagnóstico de Fallas Aplicadas a Procesos Industriales. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Volumen 1, Número 13. 2009. Pp. 106-116.
- [18] Eremev, A y Vagim, V. Common Sense Reasoning in Diagnostic Systems. En Jao, Ch., *Efficient Decision Support Systems – Practice and Challenges from Current to Future*. InTech, Rijeka, Croacia. 2011. Pp. 123-124.
- [19] Bouchon-Meunier, B, Rifqi, M y Lesot, M. Similarities in Fuzzy Data Mining: From a Cognitive View to Real-World Applications, en Zurada, J.; Yen, G. y Wang, J. (Editores) *Computational Intelligence: Research Frontiers*. Springer-Verlag. 2008. Pp. 349-367.
- [20] Bouchon-Meunier, B. Similarity, Analogy and Case-Based Reasoning. ICCBR 2007, Belfast, Irlanda del Norte. 2007. P. 1.

[21] Srinivasan, S, Kanagasabapathy, P & Selvaganesan, N. Fault Diagnosis in Deaerator Using Fuzzy Logic. *Advances in Electrical and Electronic Engineering* Vol. 6(1). 2011. Pp. 19-25.

[22] Marques, V, Torres, J y Brito, A. Case-Based Reasoning and Fuzzy Logic in Fault Diagnosis. *WSEA Transactions on Computers*. Issue 8, Volume 8, August 2009. Pp. 1404-1417.

[23] Bashon, Y, Neagu, D, Ridley, M. A New Approach for Comparing Fuzzy Objects. *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications*. 2010. Pp. 115-125.

[24] Bashon, Y, Neagu, D, Ridley, M. Fuzzy Set Theoretical Approach for Comparing Objects with Fuzzy Attributes. *11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. 2011. Pp. 754-759.

[25] El Bitar, I, Belouadha, F y Roudiès, O. A Logic and Adaptive Approach to Efficient Diagnosis Systems using CBR. *International Journal of Computer Applications*. Vol. 39 No. 15. 2012. Pp. 1-5.