

## Secuencias de alarmas para detección y diagnóstico de fallos

Carlos Agudelo<sup>\*</sup>, Francisco Morant Anglada<sup>\*\*</sup>, Eduardo Quiles Cucarella<sup>\*\*</sup>, Emilio García Moreno<sup>\*\*</sup>

Fecha de Recibido:21/04/2011 Fecha de aprobación: 04/08/2011

### Resumen

En este artículo se habla de las secuencias de las alarmas de una planta industrial y cómo pueden ser utilizadas para detectar y diagnosticar fallos. Este trabajo parte del Gerenciamiento de Alarmas, un tema que busca reducir el número de alarmas desplegadas a los operadores, contribuyendo a la apropiada detección y diagnóstico de fallos. Se muestran algunas técnicas de búsqueda cuya aplicación se mostrará posteriormente en un conjunto de datos asociados a un fallo real de una planta de Cracking Catalítico Fluidizado, para hallar la secuencia de las alarmas asociada al fallo en cuestión. Se muestra una metodología clara para poder hallar dichas secuencias de alarmas. Al final se enumeran algunas conclusiones relacionadas con la limitación debido al período de muestreo de las alarmas, y al uso de un diccionario de fallos extendido para incorporar la secuencia de las alarmas dentro de otras técnicas para la detección y el diagnóstico de fallos.

**Palabras clave:** *Detección de fallos, diagnóstico, ingeniería del conocimiento, sistemas de alarmas, diccionario extendido de fallos, Cracking Catalítico Fluidizado.*

### Abstract

This article talks about the alarm sequences of an industrial process and how they can be used to detect and diagnose faults. This paper stems from Alarm Management, a subject that seeks to reduce the number of alarms displayed to operators, contributing to appropriate detection and fault diagnosis. Shows some searching techniques whose application is displayed later in a data set associated with an actual failure of a fluidized catalytic cracking process, to find the sequence of alarms associated with fault in question. It shows a methodology to find such sequences of alarms. Finally lists some conclusions regarding the limitation due to the sampling period of the alarms, and the use of an extended fault dictionary to incorporate alarms sequence within other techniques for fault detection and diagnosis.

**Keywords:** *Fault detection, diagnosis, knowledge engineering, alarm systems, extended fault dictionary, Fluid Catalytic Cracking.*

\* Instituto Colombiano del Petróleo, Centro de I+D, Kilómetro 7 Vía a Piedecuesta, Santander, Colombia. e-mail: carlos.agudelo@ecopetrol.com.co

\*\* Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Sistemas e Ingeniería de Control, 46022 Valencia, Spain, Profesor Asociado

§Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

## 1. Introducción

Las técnicas para la detección y el diagnóstico de fallos, medidas con criterios que definen la detección temprana y el diagnóstico, la discriminación entre diferentes fallas, robustez al ruido y la incertidumbre, identificación de fallas nuevas, identificación de fallas múltiples, facilidad de explicación de las fallas y adaptabilidad, adolecen de uno o más de estos criterios, lo que hace necesario un nuevo enfoque para resolver estas falencias. En [1] se plantea una alternativa que es el uso de un diccionario extendido de fallos, que a través de un motor de reglas realiza la integración de varias técnicas para la detección temprana y el diagnóstico de fallos. La secuencia de las alarmas es una de las técnicas empleadas para la integración. El presente artículo plantea una técnica de modelado de las secuencias de alarmas, y la metodología con que dichas secuencias pueden ser utilizadas para la detección temprana y el diagnóstico de fallos.

En [1] se describe la integración de tres técnicas para la detección y el diagnóstico de fallos: El conocimiento experto del proceso en los fallos del mismo, formulado en términos de reglas, donde en los antecedentes tendremos los síntomas a validar y en los consecuentes las hipótesis de fallo; un modelo tipo respuesta escalón que permita detectar perturbaciones en el proceso, para asociar las mismas a fallos de la planta; y la secuencia de alarmas de la planta, que si es identificada previamente y asociada a cada fallo en particular, permitirá detectar y diagnosticar los fallos de la planta. La integración propuesta se plantea a través de un diccionario extendido de fallos, que vincula cada técnica con sus síntomas y el modo de operación de la planta [2]. A través de un motor de reglas se hace la validación de los síntomas que disparan la detección de cada fallo y permiten validar la causa del mismo, realizando su diagnóstico. Se construyó una herramienta inteligente de software para replicar estos conceptos y ayudar en la correcta detección y diagnóstico de fallos en una unidad de cracking catalítico fluidizado [1].

Las secuencias de alarmas son indicadores tempranos de las situaciones anormales que se empiezan a presentar en una unidad de proceso industrial. En [1] se muestra cómo para el mismo tipo de fallo, las secuencias de las alarmas son similares, lo que permite asociarlas a los fallos de la planta. En el presente artículo se muestra una metodología para modelar las secuencias de alarmas y hallar secuencias similares que permitan ser asociadas a fallos que previamente se hayan presentado en la planta. Aquí el término “previamente” se debe asociar a aprendizaje supervisado.

Son múltiples los trabajos que se han desarrollado en torno al tema de correlacionar las variables análogas del proceso para realizar la detección y el diagnóstico de fallos ([3]; [4]; y otros). Son también varios los trabajos realizados en torno a la correlación de eventos discretos (alarmas del proceso) para detectar y diagnosticar fallos ([5]; [6]; y otros). Dicha aproximación ha venido desde diferentes tipos de industrias: La industria de las telecomunicaciones, como en el caso de [5] y la industria de la producción de energía eléctrica, como en el caso de [7]. El presente artículo busca mostrar una metodología para encontrar secuencias de alarmas en los procesos industriales, específicamente en la industria petroquímica, para asociar dichas secuencias a fallos.

## **2. Marco teórico o estado de la técnica**

### **2.1 Las alarmas del proceso como herramientas para la detección y el diagnóstico de fallos**

Las alarmas en un proceso industrial son indicadores tempranos de que alguna situación anormal se está presentando en el proceso. Las alarmas deben dirigir la atención del operador hacia las condiciones de la planta que requieren su evaluación y acción oportuna, centrándose en las decisiones importantes, permitiendo la reducción de riesgos para las personas, el medio ambiente y los equipos [8].

Las alarmas del sistema desplegadas al operador deben ser las más relevantes para atender las situaciones anormales, y brindarle suficiente tiempo para responder con las acciones apropiadas para su manejo. Desafortunadamente es común encontrar en los sistemas de control electrónico modernos, configuradas alarmas que en realidad no suponen una ayuda para el operador, sino que por el contrario entorpecen su labor al inundarlo con un número inmanejable de eventos tanto audibles como visibles, no solo durante las situaciones de emergencia sino incluso durante los escenarios de operación normal. Por lo anterior es fundamental que para poder hacer un uso óptimo de la información proveniente de las alarmas del proceso, se realice una depuración de las mismas, atendiendo su prioridad en función de un análisis de escenarios posibles de operación insegura que se puedan presentar en la planta ([9]; [10]). El uso de herramientas de software avanzadas está supeditado a que en la planta se hayan aplicado las metodologías para la racionalización de las alarmas [8]. Una vez se han desarrollado las fases previas del gerenciamento de las alarmas en la planta, se pueden utilizar estas herramientas avanzadas.

## **2.2 Las secuencias de alarmas y la forma de modelarlas**

En [5] se plantea una forma de modelar el grado de similitud entre dos secuencias de eventos discretos. En esta metodología se emplea el nivel de trabajo requerido para realizar la transformación de una secuencia en otra, y para ello se definen tres operaciones básicas:

- Insertar(e, t) que inserta un evento del tipo e en el tiempo t;
- Borrar(e, t) que borra un evento del tipo e en el tiempo t;
- Mover(e, t, t') que mueve un evento existente e desde el tiempo t hasta el tiempo t'.

La distancia entre dos secuencias de eventos discretos se define como el costo de realizar las operaciones necesarias para transformar una secuencia en la otra.

A partir de esta noción se puede definir el nivel de similitud entre dos secuencias de alarmas asociadas al mismo fallo, pero ocurridas en fechas diferentes.

## **2.3 Búsqueda de secuencias de alarmas**

En [11] se muestran varios algoritmos para la búsqueda de secuencias de caracteres en cadenas de texto. Entendiendo como una cadena de texto el informe de alarmas existente durante una emergencia, pueden aplicarse estos algoritmos para buscar repeticiones de alarmas en eventos similares ocurridos en fechas diferentes en la planta, para identificar la secuencia de alarmas asociada a dicho fallo.

En particular se citan los algoritmos de fuerza bruta, Knuth-Morris-Pratt y de Boyer-Moore-Horspol, y se pone de manifiesto que son los mejores algoritmos disponibles para aplicaciones generales.

# **3. Desarrollo Experimental**

## **3.1 El procesamiento de las alarmas**

Los operadores de consola tienen que enfrentar ciertas condiciones en las alarmas de la planta:

- Alarmas poco descriptivas.
- Alarmas demasiado detalladas.
- Demasiadas alarmas durante una perturbación del proceso.
- Falsas alarmas.
- Multiplicidad de alarmas para el mismo evento.

Alarmas que cambian demasiado rápido para ser leídas en el despliegue gráfico del operador.

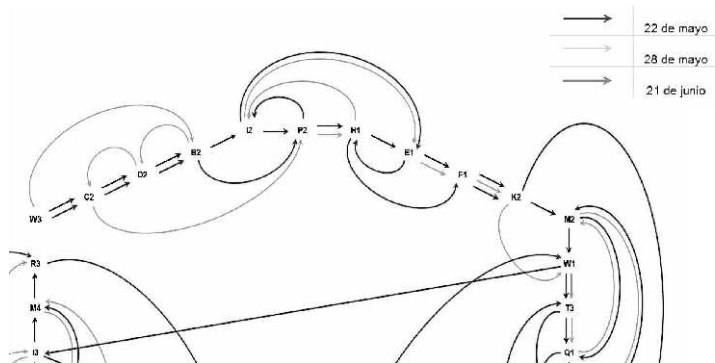
Alarmas que no se encuentran en orden de prioridad.

El procesamiento de las alarmas propuesto en el presente documento detecta secuencias de alarmas asociadas al mismo tipo de fallo y crea un análisis causa-efecto inteligente. A través de la inhibición causal [12] se puede disminuir el número de alarmas presentadas al operador, de manera que este no se vea “inundado” por eventos que pueden ser redundantes. Lo que se hace es presentar en la herramienta inteligente de software un listado de las alarmas activas en la planta, filtradas de acuerdo a si dichas alarmas están ó no relacionadas con los fallos ya detectados en la planta, utilizando las técnicas propuestas en [1] y el diccionario extendido de fallos. Las alarmas que estén relacionadas con los síntomas que se validan para detectar y diagnosticar un fallo, no se presentan al operador en este listado de alarmas. Tan sólo se presentan las alarmas asociadas a fallos que no han sido detectados ni diagnosticados. El listado de las alarmas en el DCS se deja intacto, no se filtran las alarmas por seguridad.

### **3.2 Módulo de aprendizaje de fallos basado en las secuencias de alarmas identificadas**

En lugar del algoritmo de Knuth-Morris-Pratt se puede aplicar el algoritmo de fuerza bruta a las secuencias de alarmas si se asume cada alarma como una secuencia de longitud 1 (recordemos que el objetivo de este algoritmo es buscar ocurrencias de una palabra W en una cadena de caracteres S empleando la información de cuando la palabra no coincide con el texto), y se ejecuta varias veces el algoritmo permitiendo hallar las alarmas de la secuencia corta en la secuencia larga. Por lo anterior es válido el uso del algoritmo de fuerza bruta en la solución del problema de encontrar las secuencias de alarmas asociadas a un fallo en particular.

Para verificar los conceptos antes vistos se escogió el fallo asociado a la falta de agua de enfriamiento del compresor de aire de la unidad de Cracking Catalítico Fluidizado. Dicho fallo ya había sido analizado previamente [1], y se tenían las secuencias de las alarmas asociadas al mismo para tres fechas diferentes. En la siguiente gráfica se muestran las secuencias de las alarmas asociadas a la misma causa del fallo (pérdida de agua de enfriamiento al soplador C-501). Cada color representa una de tres fechas en las cuales se presentó el mismo fallo, y cada letra representa una alarma que se activó durante dicho escenario de fallo:



**Figura 1.** Secuencias de alarmas asociadas al mismo fallo ocurrido en 3 fechas diferentes.

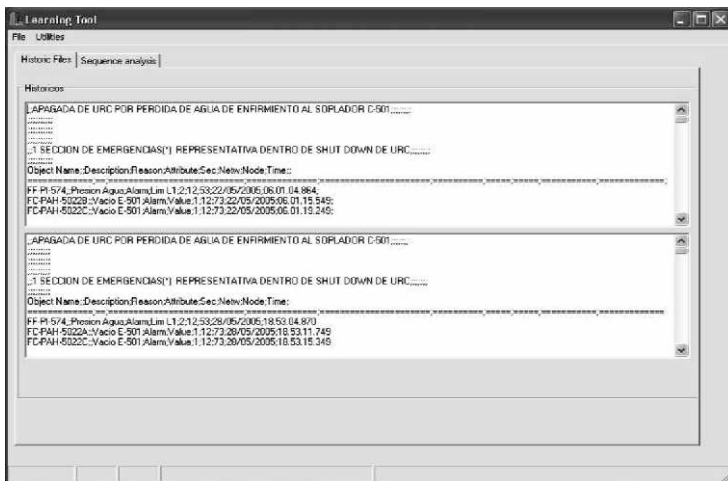
Para analizar automáticamente este fallo, se desarrolló una rutina en el lenguaje de programación C++, implementando el algoritmo de fuerza bruta. Asumiendo que la cadena de caracteres (secuencia de alarmas) que se va a analizar se llama  $S$ , y tiene  $n$  caracteres, y el patrón que se va a buscar se llama  $P$  y tiene  $m$  caracteres, en el algoritmo de fuerza bruta, la posición  $i$  del vector de caracteres  $P$  es comparada con la cadena de caracteres  $S(j, j+m-1)$  (para  $1 \leq j \leq n-m+1$ ) hasta que se encuentra una coincidencia ó el final del texto es alcanzado. Como máximo  $m$  comparaciones pueden ser realizadas para cada posición  $j$ , y un máximo de  $m \cdot (n-m+1)$  comparaciones son requeridas en total en el peor caso. El desempeño esperado es cercano a  $O(m+n)$ . El pseudocódigo de este algoritmo se puede ver en la siguiente figura:

```

i = 1
j = 1
mientras(i ≤ m) y (j ≤ n)
    si Sj = Pi
        i = i + 1
        j = j + 1
    sino
        i = i - j + 2
        j = 1
si j > m
    i = i - m
sino
    i = 0

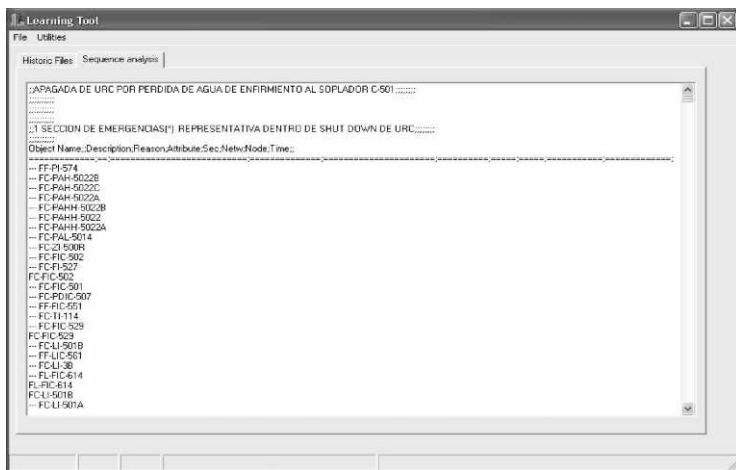
```

**Figura 2.** Pseudocódigo del algoritmo fuerza bruta



**Figura 3.** Interface gráfica de la aplicación para realizar el análisis de las secuencias de alarmas.

Se cargaron en esta aplicación dos archivos históricos correspondientes a datos del 22 de mayo del año 2005, y el 28 de mayo del año 2005, y se compararon las alarmas utilizando el algoritmo de fuerza bruta. Aquí se debe tener en cuenta que las alarmas representadas por la ocurrencia del tag del instrumento asociado, se nombran de acuerdo a la norma ISA 5.1.



**Figura 4.** Resultados de la aplicación para hacer análisis de las secuencias de alarmas.

## 4. Resultados y su análisis

El resultado de aplicar el algoritmo fuerza bruta a los dos eventos históricos, fue comparado con la secuencia de las alarmas identificada de forma manual. Para esto se procedió a buscar en el listado manual de las alarmas su identificación, y verificar que dicha identificación se encontrara presente en la secuencia de las alarmas identificada de manera manual. Lo que se obtuvo fue un ajuste entre el algoritmo manual y el algoritmo automatizado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3			Object Name	Description	Attribute				Time		
4											
5	A1		FC-A-M-507D	Estacion	MV < L1					28/05/2005	
6	B1		FC-A-M-507D	Estacion	MV < L2					28/05/2005	
7	C1		FC-F1501-FCF	Dif TX Aire C-501	FAH						21/06/2005
8	D1		FC-F1515	Vap 600 a C-501	FAL						21/06/2005
9	E1		FC-F1527	Aire PPAL al RG	Lim L1 ó FAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
10	F1		FC-FIC-501	Aire a C-501	MV < L1 ó FAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
11	G1		FC-FIC-501	Aire a C-501	MV < L2			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
12	H1		FC-FIC-502	Aire Control	MV < L1 ó FAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
13	I1		FC-FIC-502	Aire Control	Quality2					28/05/2005	
14	J1		FC-FIC-529	Antisurge C-501	MV < L1			22/05/2005	28/05/2005		
15	K1		FC-FIC-529	Antisurge C-501	MV < L2			22/05/2005	28/05/2005		
16	L1		FC-LAH-5009A	Condensado FC-E-501	Value					28/05/2005	
17	M1		FC-LAH-5009B	Condensado FC-E-501	Value					28/05/2005	
18	N1		FC-LAH-5009B	Condensado FC-E-501	Value					28/05/2005	
19	O1		FC-LI-1A	Catalizador RX	Lim L1 ó LAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
20	P1		FC-LI-1B	Catalizador RX	Lim L1 ó LAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
21	Q1		FC-LI-3B	Cataliz Lecho RG	Lim L1 ó LAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
22	R1		FC-LI-3B	Cataliz Lecho RG	LAH						21/06/2005
23	S1		FC-LI-5005	Acéte cons FC-C-501	LAL						21/06/2005
24	T1		FC-LI-501A	Pozo Rebose RG	Lim L1			22/05/2005	28/05/2005		
25	U1		FC-LI-501A	Pozo Rebose RG	LAH						21/06/2005
26	W1		FC-LI-501B	Pozo Rebose RG	Lim H1 ó LAH			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
27	X1		FC-LI-501B	Pozo Rebose RG	Lim L1			22/05/2005	28/05/2005		
28	Y1		FC-LIC-503	Nivel del E-501	MV < L1 ó LAL			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
29	Z1		FC-LIC-503	Nivel del E-501	MV < L2			22/05/2005	28/05/2005		
30	A2		FC-LIC-503	Nivel del E-501	LAH						21/06/2005
31	B2		FC-PAH-5022A	Vacio E-501	Value ó PAH			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
32	C2		FC-PAH-5022B	Vacio E-501	Value ó PAH			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
33	D2		FC-PAH-5022C	Vacio E-501	Value ó PAH			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005
34	E2		FC-PAH-5022D	Vacio E-501	Value			22/05/2005	28/05/2005		21/06/2005

Figura 5. Alarmas tabuladas para encontrar su ocurrencia en los días azulizados.

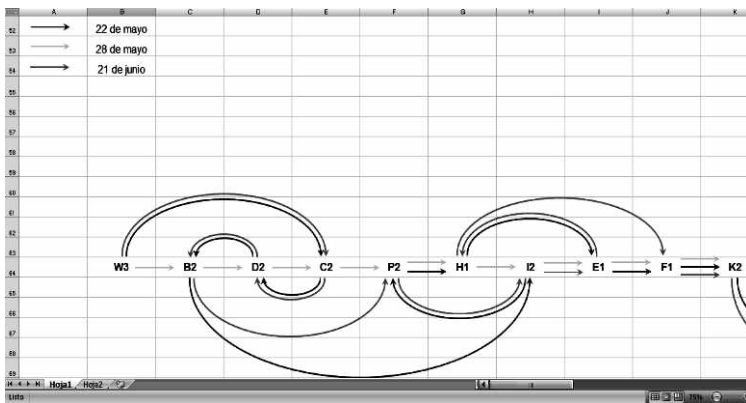


Figura 6. Secuencia de alarmas parcial identificada de manera manual correspondiente a la pérdida de agua de enfriamiento en el compresor C-501.



--FF-PI-574  
--FC-PAH-5022B  
--FC-PAH-5022C  
--FC-PAH-5022A  
--FC-PAHH-5022B  
--FC-PAHH-5022  
--FC-PAHH-5022A  
--FC-PAL-5014  
--FC-ZI-500R  
--FC-FIC-502  
--FC-FI-527  
--FC-FIC-502  
--FC-FIC-501  
--FC-PDIC-507  
--FF-FIC-551  
--FC-TI-114  
--FC-FIC-529

**Figura 7.** Alarmas coincidentes entre la secuencia manual y la secuencia hallada de manera automática.

El objetivo de la aplicación del algoritmo de fuerza bruta a los históricos de alarmas es la detección de secuencias de alarmas que luego puedan ser incorporadas al diccionario extendido de fallos, como se muestra en [1].

Como conclusión de las pruebas realizadas podemos extraer que la ocurrencia de las alarmas no ocurre en estricto orden a través de los históricos con las alarmas asociadas al mismo fallo, por lo que es recomendable que las reglas asociadas a las secuencias de las alarmas se disparen siempre (en el antecedente tendremos las alarmas que hacen parte de la secuencia, y en el consecuente tendremos la hipótesis del fallo), mostrando el porcentaje de las alarmas que se han presentado y que hacen parte de la secuencia. Este porcentaje puede actuar como nivel de certeza en que el fallo en cuestión se está presentando.

La información proveniente de la secuencia de las alarmas, así como la que puedan ofrecer otras técnicas de detección y diagnóstico de fallos puede ser incorporada en lo que llamaremos un diccionario de fallos extendido. Una vez se han definido los fallos a detectar, se seleccionan medidas o cálculos a partir de las mismas que puedan asociarse a los fallos y se registran en una tabla. Las mediciones obtenidas de un

sistema con fallo desconocido son comparadas con las registradas en la tabla, y de esta manera se puede identificar cuál es el fallo que se está presentando [13]. Dependiendo del tipo de técnicas integradas, la información a registrar en el diccionario de fallos extendido es el nivel de similitud entre la secuencia de alarmas observada en el proceso real, y una secuencia de alarmas asociada previamente al fallo en cuestión. La información se registrará en el diccionario de fallos extendido como un conjunto de síntomas  $S_{ij}$ , donde el primer subíndice hace referencia a la técnica utilizada para detectar dichos síntomas, y el segundo subíndice hace referencia al fallo definido dentro del diccionario (figura 8).

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	...	$t_r$	Modo
$f_0$	$S_{10}$	$S_{20}$	$S_{30}$		$S_{r0}$	$m_0$
$f_1$	$\phi$	$S_{21}$	$S_{31}$		$S_{r1}$	$m_1 m_2$
$f_2$	$S_{12}$	$S_{22}$	$\phi$		$S_{r2}$	$m_2$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	
$f_n$	$S_{1n}$	$S_{2n}$	$S_{3n}$		$S_{rn}$	$m_m$
				...		

Figura 8. El diccionario extendido de fallos.

En el diccionario de fallos extendido se ha adicionado una columna (Modo) que permite identificar el modo de operación durante el cual se puede presentar dicho fallo (pudiendo presentarse un mismo fallo en diferentes modos de operación). Lo anterior facilita la inhibición de la detección de ciertos fallos durante operaciones de arrancada y parada, en las cuales ciertas técnicas tienen inconvenientes para discernir entre una condición anormal de operación y una condición perfectamente normal (por ejemplo, las alarmas de un proceso industrial normalmente se activan durante los procedimientos de arrancada y parada debido a la violación de las ventanas operativas establecidas para la operación normal). El diccionario de fallos extendido permite la integración de las diversas técnicas de detección y diagnóstico, entre ellas la secuencia de alarmas de la planta. Detectar un conjunto de estos síntomas en el proceso real equivale a decir que existe cierta probabilidad de que esté ocurriendo dicho escenario de fallo. La forma en la que un sistema basado en conocimiento puede modelar este proceso de inferencia es a través del encadenamiento hacia atrás de un conjunto de reglas que

registren las posibles hipótesis de fallo a partir de las entradas en el diccionario de fallos extendido. La regla  $ij$  tendrá la siguiente forma:

$$S_{ij} \wedge \text{Modo}(m) \Rightarrow f_j \quad (1)$$

Donde en el consecuente se ha colocado la hipótesis de fallo, y en el antecedente el conjunto de síntomas que se deben verificar (secuencia de alarmas), junto al modo de operación en el que se debe encontrar el proceso, todo a partir de la información registrada en el diccionario de fallos extendido.

Hay alarmas que tan solo se dispararon en dos de los tres eventos analizados. Estas alarmas actúan como ruido que no debe tenerse en cuenta en la estructuración de la secuencia de alarmas.

Otra conclusión de las pruebas es que a partir de la comparación con históricos de fechas adicionales, se puede acortar el listado de alarmas que hacen parte de la secuencia.

## 5. Conclusiones

En el presente artículo se ha abordado el uso de la secuencia de eventos anormales (alarmas) para detectar y diagnosticar fallos en procesos industriales. Sería muy interesante contar con muchos más eventos que fueran indicadores de que algo anormal está ocurriendo en la planta, debido a que las alarmas están diseñadas para avisar al personal de operaciones cuando las situaciones extremas se han alcanzado. Sin embargo, si existieran más eventos discretos que alertaran sobre las condiciones de la planta, podrían ser aprovechados por esta u otras metodologías para detectar y diagnosticar fallos. Dichos eventos no se podrían configurar como alarmas debido a que se entenderían como alarmas redundantes que sólo agregarían ruido al sistema de alarmas, pero podrían aprovecharse para correlacionar dichos eventos con situaciones anormales.

La escala de tiempo en la que ocurren las alarmas de la planta, y se analiza su secuencia tiene un alto impacto en el tipo de fallos que pueden ser detectados y diagnosticados. Adicionalmente existe la limitante de que detectar alarmas con una frecuencia muy alta (períodos de muestreo muy pequeños), puede generar una carga adicional al sistema de control, que en la mayoría de los casos no es permisible, por entrar en conflicto con el tiempo destinado por el hardware de control a las actividades de muestreo y control de las variables del proceso. Debido a lo anterior es necesario delimitar el alcance de las alarmas que se van a muestrear y los

fallos que pueden ser detectados y diagnosticados, para evitar esta sobrecarga adicional al hardware del sistema de control de la planta.

El aprendizaje del que trata la metodología cubierta en este documento es supervisado, en el sentido de que se necesita antes del análisis haber identificado los días de fallos similares en la planta, para poder realizar el análisis de similitud en las secuencias de alarmas. Se necesita también tener claro el tipo de fallos a detectar, debido a las limitantes en el muestreo de las alarmas, mostradas en el punto anterior.

Los aportes al estado del arte del presente artículo tienen que ver con el análisis de secuencias de alarmas para asociarlas a los fallos de una unidad industrial en la industria petroquímica. Dichas secuencias se identifican utilizando algoritmos de ajuste de patrones que permiten identificar secuencias de alarmas comunes, ocurridas en días diferentes, pero asociadas al mismo fallo en cuestión. Adicionalmente a lo anterior se toca el tema de un diccionario de fallos extendido, que hace uso de un sistema de inferencia lógica, basado en reglas, para hacer la integración de técnicas para la detección y el diagnóstico de fallos. Las secuencias de las alarmas identificadas pueden ser posteriormente incorporadas en el diccionario extendido de fallos, para detectar y diagnosticar de manera apropiada los fallos de los cuales se tengan datos históricos de las alarmas generadas.

## **6. Agradecimientos**

A ECOPETROL S.A. y al personal de las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena quienes con su trabajo nos permitieron poner en práctica los conocimientos adquiridos.

## **Referencias**

- [1] Agudelo, Carlos. Integración de técnicas para la detección temprana y el diagnóstico de fallos. Aplicación a un proceso de Cracking Catalítico Fluidizado. Documento elaborado como requisito para optar al Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Politécnica de Valencia, Diciembre 2010.
- [2] Agudelo, Carlos; Quiles, Eduardo; Morant, Francisco; García, Emilio. Uso de Sistemas Expertos en el Diagnóstico de Fallos en Procesos Complejos. XIII Convención de Ingeniería Eléctrica (CIE2007). Univ. Central María Abreu de las Villas. Villa Clara (Cuba), Junio 2007.

- [3] Singhal, Ashish; Seborg, Dale. Matching Patterns from Historical Data Using PCA and Distance Similarity Factors. Department of Chemical Engineering. University of California, Santa Barbara. Proceedings of the American Control Conference. Arlington, VA. June 25-27, 2001.
- [4] Mingsheng, Qian. Efficient methodologies for real-time state identification during process transitions. A thesis submitted for the degree doctor of philosophy, Department of Chemical and Biomolecular Engineering. National University of Singapore. 2006.
- [5] Mannila, Heikki; Ronkainen, Pirjo. Similarity of Event Sequences (Extended Abstract). University of Helsinki, Department of Computer Science, 1998.
- [6] Arellano, Juan; Galicia, Yalu; Ramírez, Edgar. A new shell for the development of alarm pattern recognition expert systems. Proceedings of the 3rd international conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems - Volume 2. 1990.
- [7] Pereira, Rodrigo; Kezunovic, Mladen; Mantovani, José. Fault Location Algorithm for Primary Distribution Feeders Based on Voltage Sags. International Journal of Innovations in Energy Systems and Power. Vol4 No 1. Abril 2009.
- [8] Acero, Carolina; Riascos, Federico; Agudelo, Carlos; Torres, Enrique. Gerenciamiento de Alarmas: Documento filosófico para el manejo de alarmas en la Gerencia Refinería de Cartagena. Instituto Colombiano del Petróleo, ECOPETROL. Piedecuesta (Colombia), Mayo 2005.
- [9] Acero, Carolina; Riascos, Federico; Agudelo, Carlos; Torres, Enrique. Gerenciamiento de Alarmas en GRC: Diagnóstico preliminar Unidad de Ruptura Catalítica-Fase I. Instituto Colombiano del Petróleo, ECOPETROL. Piedecuesta (Colombia), Septiembre 2005.
- [10] Acero, Carolina; Riascos, Federico; Agudelo, Carlos; Torres, Enrique. Gerenciamiento de Alarmas en GRC: Informe de medición Post-Fase I Unidad de Ruptura Catalítica. Instituto Colombiano del Petróleo, ECOPETROL. Piedecuesta (Colombia), Diciembre 2005.

- [11] Graham, Stephen. String searching algorithms. Lecture notes series on Computing – Vol. 6. World Scientific. Londres, 2000.
- [12] Ghariani, A.; Toguyéni, A. K. A.; Craye, E. A Functional Graph Approach for Alarm Filtering and Fault Recovery for Automated Production Systems, wodes, pp.289, Sixth International Workshop on Discrete Event Systems (WODES'02), 2002.
- [13] Pous i Sabadí, C. Case based reasoning as an extensión of fault dictionary methods for linear electronic analog circuits diagnosis. PhD dissertation. Universidad de Girona, 2004.