

# SISTEMAS PARA LA DETECCION Y DIAGNOSTICO DE FALLAS: IMPLANTACION INDUSTRIAL

SANDRA ARANGUREN <sup>A</sup>  
ROCCO TARANTINO <sup>B</sup>

<sup>A</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones y Desarrollo de Tecnología Aplicada. Pamplona-Colombia.  
e-mail: aranta2000@cantv.net

<sup>B</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones y Desarrollo de Tecnología Aplicada. Pamplona-Colombia.  
e-mail: roccot@unipamplona.edu.co

## RESUMEN

En este artículo se desarrolla como una propuesta el plan de implantación para Sistemas de Detección y Diagnóstico de Fallas (SDDF) en Procesos Industriales.

Este plan se fundamenta principalmente en el diseño de una metodología que permita evaluar la necesidad o no de implantación de estos sistemas, con el fin de fijar prioridades en sistemas complejos y optimizar recursos (humanos, económicos y tecnológicos). Esta metodología se basa en herramientas de confiabilidad como los son el cálculo de riesgos y de criticidad de equipos, en Plantas del Proceso.

**Palabras claves:** SDDF, Metodología, Confiabilidad, Procesos Industriales.

### Acrónimos:

SDDF: Sistemas de Detección y Diagnóstico de Fallas

AC: Altamente Crítica

MC: Medianamente Crítica

SHA: Seguridad, Higiene y Ambiente

TPPF: Tiempo Promedio Para Fallar

MPBT: Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo

## I INTRODUCCIÓN

La complejidad de los procesos industriales y la exigencia de buscar mecanismos para mantener altos niveles de confiabilidad y seguridad, han creado la necesidad de producir sistemas que permitan en línea detectar y aislar fallas incipientes que ocurren durante la operación de los mismos.

En muchos procesos industriales se producen paradas de plantas no programadas por fallas en los elementos que conforman el sistema de

automatización (equipos, sensores, transmisores, actuadores), los cuales afectan la producción convirtiéndose en pérdidas económicas para la empresa. La búsqueda de criterios para la implantación de los sistemas de detección y diagnóstico de fallas ha creado la necesidad de diseñar una metodología que permitirá establecer los requerimientos necesarios como base para el análisis de los mismos, con el fin de fijar prioridades en sistemas complejos y optimizar recursos (humanos, económicos y tecnológicos). Este requerimiento se basa principalmente en herramientas y técnicas de confiabilidad como es el caso del cálculo de riesgo para las plantas del sistema, así como también el cálculo de criticidad de equipos, entre otros.

II. Metodología de Implantación de los Sistemas de Detección y Diagnóstico de fallas en Procesos de Refinación. A continuación se presenta los pasos que se debe seguir en la implantación de los sistemas de detección y diagnóstico de fallas y su respectiva descripción. [1], [4], [7], [10], [14]

A. Cálculo de Riesgo para las Plantas dentro del Complejo Industrial. El riesgo es una medida de la pérdidas económicas, daños ambientales o daños ocurridos a seres humanos, y está dado en términos de la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado (frecuencia) y la magnitud de la pérdida o daño (consecuencias). [10], [13]

Es decir,

Riesgo = f(Frecuencia, Consecuencia) (1)

y esta definido como:

$$\text{Riesgo} = \sum_{i=1}^n P_{fi} * f_{fi} * C_{fi}, \quad (2)$$

donde,

Pfi: es la probabilidad de falla del evento.

ffi: es la frecuencia del evento.

Cfi: es el costo asociado a esa falla.

Supongamos que se necesita determinar el riesgo de cada una de plantas de un Complejo Industrial. Como explicamos anteriormente el riesgo esta definido por la ecuación (2) donde, Pfi: es la probabilidad de que ocurra una parada no programada en cada planta del Complejo Industrial, y esta dado por  $1 - R$ . Donde, R: llamado confiabilidad. Representa la probabilidad que tiene un sistema para cumplir con su función de diseño durante un período especificado de tiempo (también se define como la probabilidad de cero fallas en un sistema). La Confiabilidad esta expresada de la siguiente manera (caso particular de Poisson):

$$R = e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

donde

, y se define como la tasa de fallas del sistema, en nuestro caso representa la tasa de fallas de la planta i.

$$\lambda = \frac{1}{\text{TPPF}}, \quad (4)$$

TPPF: es el tiempo promedio para fallar y esta dado como

$$\text{TPPF} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{TPF}_i}{N}, \quad (5)$$

donde,

TPF: es el tiempo para fallar o tiempo en servicio de la planta i.

N: es el número de fallas de la planta i.

t: es el tiempo total del sistema.

ffi: es la frecuencia de falla de la planta i.

Cfi: es el costo asociado a las pérdidas de oportunidades generado por la parada no programada de la planta i.  
i: es un entero que va desde 1 hasta n.

### B. Jerarquización de las Plantas:

Una vez determinadas las pérdidas de oportunidad que producen las paradas de planta no programadas y por ende el impacto económico que estas generan en las unidades de producción, se ordenan de mayor a menor riesgo los resultados obtenidos en cada una de las plantas del Complejo Industrial descrito en el paso anterior. Después de clasificadas se procede con el análisis de criticidad de los equipos por planta, respetando el orden de prioridad.

### C. Cálculo de Criticidad para las Plantas del Complejo Industrial:

El análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar, en función de su impacto global e importancia, a los equipos dentro de una planta, con el objetivo de fijar prioridades en el momento de planificar el mantenimiento preventivo basado en tiempo, basado en condición, y correctivo.

Criticidad= Frecuencia de fallas \*  
Consecuencia de fallas (6)

### D. Selección de equipos que requieren Sistema de Detección y Diagnóstico de Fallas.

Luego de definirse el nivel de criticidad de cada uno de los equipos por planta y clasificarse de acuerdo a las bandas de criticidad. Se determina que los equipos que requieren monitoreo, detección y diagnóstico de fallas son aquellos clasificados de alta criticidad, ya que al fallar producen un impacto en la producción, seguridad de personas y/o bienes y daños ambientales. Y los equipos clasificados de mediana criticidad, que cuando

fallan producen un impacto en la calidad de la producción y/o balances de masas. [9]

### E. Existencia de problemas recurrentes o de impacto:

En aquellos casos donde se encuentran problemas recurrentes o de impacto (seguridad, costos de mantenimiento o pérdida de producción) en las plantas, se realizará un análisis causa raíz del problema. Si en este análisis no se determina fácilmente la causa raíz del problema entonces se evaluará si la implantación de un sistema de detección y diagnóstico de fallas ayuda a detectar y diagnosticar como y quién ocasiona la falla, de lo contrario se procederá a realizar un análisis de reingeniería.

El análisis causa raíz, es una metodología sistemática utilizada para investigar la causa origen de cualquier problema, sin importar las disciplinas que pudieran estar involucradas en dicha investigación. Esta metodología, básicamente responde a la pregunta: "Qué lo causó?" y la respuesta consecutiva a esta pregunta, establece un diagrama en bloques (causa-efecto), posibles, los cuales deberán ser validados por soportes fehacientes. Esta metodología inicialmente responde a las preguntas: qué, cuándo, dónde y escenario, no responde al cómo, ni al quién?. Esta metodología puede considerarse como un método sistemático para la detección y diagnóstico de fallas post-mortem. [9]

### F. Determinación de las características dinámicas del proceso e identificación de señales.

Una vez clasificados los equipos de alta y mediana criticidad (por ejemplo: columna de destilación, hornos, compresores), se determinará las características dinámicas de cada uno de estos procesos, tales como:

linealidad, variabilidad, retardo, ruido, entre otros. También se analizará e identificará el número de señales disponibles por variable, con el objeto de determinar si existe redundancia física o no en la medición de las mismas. [1], [3], [4], [12]

Todo esto con la finalidad de poder seleccionar la metodología o tecnología de detección y diagnóstico adecuada.

**G. Clasificación de la metodología o tecnología a ser implantada.** De acuerdo al número de señales disponibles por variable y a las características dinámicas del proceso se seleccionará la metodología / tecnología a implantar: Si se dispone de más de una señal por variable entonces se debe aplicar el método basado en redundancia física [1], [3], [4]. Este método permite detectar fallas especialmente en transmisores. Para el diagnóstico de la falla se requiere el apoyo de los métodos de análisis espectral (Transformada Discreta de Fourier), estadísticos (Gráficos de Control Estadístico, Intervalos de Confianza, Función de Distribución Normal, Pruebas de Hipótesis, entre otros.) y/o métodos emergentes (Redes Neuronales, Lógica Difusa o Sistemas Expertos) [2], [7], [8], de lo contrario.

- Si se dispone de una señal de entrada  $u(t)$  y salida  $y(t)$  de la variables alta y medianamente críticas del proceso en estudio y se tiene los modelos matemáticos asociado al mismo entonces se debe aplicar un método de detección y diagnóstico de fallas basados en modelos (Redundancia Física, Redundancia Analítica, Relaciones de Paridad, Filtros de Detección y Diagnóstico de Fallas, entre otros). [5], [6]

Con estos métodos se pueden detectar fallas en los transmisores, válvulas y en las variables de estado del proceso. En aquellos casos donde no es posible separar las fallas se podrá recurrir a métodos híbridos, donde se detectan las fallas aplicando métodos basados en modelos y se diagnostica haciendo uso de los métodos emergentes, de lo contrario.

- Si se dispone de la señal de entrada y salida de la variable del proceso en estudio y su dinámica es rápida, entonces, se debe aplicar método de análisis espectral para detectar y diagnosticar fallas o métodos emergentes, de lo contrario.

- Si se dispone de la señal de entrada y salida de la variable del proceso en estudio y su dinámica es lenta entonces se debe aplicar métodos estadísticos para detectar y diagnosticar fallas o métodos emergentes.

**H. Análisis Costo Beneficio Riesgo (ACBR).** Una vez determinado la metodología o tecnología de detección y diagnóstico de fallas a ser implantado, se deberá realizar un análisis costo beneficio riesgo, con el objetivo de tomar en cuenta la posibilidad de ocurrencia de daños materiales, tanto a la instalación como a propiedades de terceros, así como la pérdida de producción durante los períodos de parada para reparación de los daños. Si este valor es mayor que el costo de las medidas para minimizar el riesgo, estas últimas es económicamente justificable. Si la metodología seleccionada no es justificable, entonces, no se implantará el sistema de detección y diagnóstico de fallas, de lo contrario se implantará el sistema de detección y diagnóstico de fallas, se analizará los resultados y se documentará el análisis

de la variable o proceso monitoreada por el mismo. [9]

I. Implantar SDDF, Análisis de Resultados, y Documentar: El SDDF se puede implantar en los Sistemas de Control Distribuidos y/o Sistemas de Control Supervisorio para el monitoreo de las variables alta y medianamente críticas del proceso. Los resultados generados por este sistema serán analizados por los Ingenieros de Mantenimiento, Mantenedores e Instrumentista de la planta y podrán ser utilizados para la planificación del Mantenimiento Basado en Condición (MPBC). Una vez analizados los datos se procederán a guardar la data de las fallas encontradas de manera que pueda servir como patrones para el diagnóstico en futuras implantaciones. Finalmente se documentará los resultados obtenidos.

### III. CONCLUSIONES

En este artículo se ha propuesto una metodología para la implantación de los SDDF en Procesos Industriales. Esta metodología facilita la implantación del Mantenimiento Preventivo Basado en Condición, lo cual redundará en la reducción de costos de mantenimiento y la disminución de paradas

de planta no programadas causadas por fallas en los sistemas de automatización.

Los SDDF planteados en este artículo utilizan en su mayoría metodologías de implantación factible, considerando como marco de referencia la infraestructura de monitoreo de control y seguridad del Complejo Industrial. El uso de los SDDF permite una maximización de la vida útil de los equipos.

La combinación de instrumentación inteligente así como las tecnologías de avanzadas (Fieldbus, Fieldview) junto con los sistemas de detección de fallas, facilita la capacidad de diagnóstico de fallas.

La metodología de generación de residual físico se mostró como la metodología de inmediata implantación, considerando la configuración existente de los sistemas de control y seguridad.

La implantación de los SDDF introduce un robustecimiento de los sistemas de control y seguridad, produciendo un mejor índice de tolerancia a fallas, el cual se verá reflejado tanto en la confiabilidad como en la seguridad de los procesos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pouliezos, Stavrakakis. (1994). Real Time Fault Monitoring of Industrial Processes. Kluwer Academic Publishers.
- [2] Jhon S. Oakland. "Statistical Process Control" Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, 1986
- [3] Gertler Janos J. (1998). Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. Marcel Dekker, Inc. Printed USA.
- [4] Chen, Patton. (1999). Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dinamic Systems. Kluwer Academic Publishers.
- [5] Tarantino Rocco. (1999, Noviembre). Detección de Fallas en Sistemas Dinámicos Lineales Variante en el Tiempo. Tesis de Doctorado publicada. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida-Venezuela.
- [6] Tarantino R., F. Szigeti, E. Colina. (2000, Julio) Generalized Luenberger Observer-Based Fault-Detection Filter Desig: An Industrial Application. Control Engineering Practice.
- [7] Mo-Yuen Chow. (1997). Methodologies of Using Neural Network and fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection. World Scientific.
- [8] R. Tarantino°, K. Cabezas\*, F. Rivas \*, E, Colina\*. (2001, Abril) Failure Detection and Diagnostic System Based on a Hybrid Method. Conference Applications and Science of Computational Intelligence IV.SPIE.
- [9] CIED (1998, April). Curso de Formación Reliability-Centred Maintenance. Strategic Technologies inc-Aladon Ltd.
- [10] Carrera, Oquendo y Tarantino (2001,) Metodología para Evaluar Confiabilidad en Instrumentación - Informe Técnico.
- [11] Aranguren, Sandra. (2001), Estudio y Diseño de las Normas, Ingeniería, Metodologías y Tecnologías de los Sistemas de Detección y Diagnóstico de Fallas (SDDF), para los Elementos de los Sistemas de Automatización del Centro de Refinación Paraguaná (CRP), PDVSA. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida-Venezuela.
- [12] Barazarte, N. Bruzual Rosejulie. (1996, Octubre) Sistema de Detección y Diagnóstico de Fallas para los Hornos de la Planta de Coquificación Retardada (DCU). CRP- Cardón. PDVSA- Falcón.
- [13] ISA-S84.01-1996. (1996, February). Applicable Safety Instrumented Systems for the Process Industries.  
Publication by ISA Standards and Practices Board.
- [14] Barrios, Judith. (1995, Abril). Estudio de Estructuras, Componentes, Interrelaciones, Metodologías y Tecnologías asociadas a los Sistemas de Información. Editado por publicaciones de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.