

## Agent-based design for fault management system in industrial processes

**Mariela Cerrada<sup>1</sup>, José Aguilar<sup>2</sup>, Juan Cardillo<sup>1</sup> y Raúl Faneite**

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas de Control. <sup>2</sup>Departamento de Computación-CEMISID. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Avenida Tulio Febres Cordero, Mérida 5101-Venezuela. E-mail: cerradam@ula.ve; ijuan@ula.ve; aguilar@ula.ve  
Tel. (58 274) 2402847 Fax: (58 274) 2402979

### Abstract

At the present time, the necessities of the industry demand procedures for global management, integrating information systems to manipulate and to use the information in the controlled processes. These considerations lead to the development of supports systems for decisions-making, for which fault detection and diagnostic system are vital aspects. In this work, a multi-agent-based reference model for fault management in industrial processes is proposed. The fault management problem is viewed like a feedback control process and the actions are related to the decision-making in the scheduling of the preventive maintenance task and the running of preventive and corrective specific maintenance tasks. A particular methodology allowing the conception and analysis of the agent systems is used for the agents design. As a result, a set of models describing the general characteristics of the agents, specific tasks, communications and coordination is obtained.

**Key words:** Fault management, maintenance, multi-agents systems, automation.

## Diseño basado en agentes para sistemas de manejo de fallas en procesos industriales

### Resumen

En la actualidad, las necesidades de la industria demandan procedimientos de gestión global que integren los sistemas de información para manipular y utilizar la información en los procesos controlados. Estas consideraciones conllevan, entre otras, al desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, para los cuales se hacen imprescindibles sistemas de detección y diagnóstico de fallas. En este trabajo se propone un modelo de referencia que permita la gestión del mantenimiento sobre plataformas de automatización industrial estándar, basado en un sistema multi-agente, siendo visto este proceso de manejo de fallas como un sistema de control en lazo cerrado. La concepción y análisis del sistema multi-agente es lograda usando una metodología que permite especificar las características de los agentes, sus tareas y servicios, así como también las comunicaciones y coordinación entre los diferentes agentes del sistema.

**Palabras clave:** Manejo de fallas, mantenimiento, sistemas multi-agentes, automatización.

### 1. Introducción

La implantación de sistemas de automatización permite realizar una supervisión de los diferentes procesos y variables de operación de manera dinámica y permite, además, conocer el estado del proceso supervisado a fin de garanti-

zar un buen desempeño [1]. En el caso de la presencia de fallas, el desempeño del proceso se puede degradar de manera importante. Estas consideraciones conllevan a proponer y desarrollar sistemas integrados para el manejo de fallas, que deben cohabitar en los niveles de con-

trol y supervisión, para apoyar la planificación de las tareas de mantenimiento en el proceso de producción [2,3]. En este trabajo se propone un modelo de referencia para el manejo de fallas basado en agentes, como complemento al modelo de automatización propuesto en [4] y usando el modelo genérico basado en agentes para sistemas de control, desarrollado en [5]. La autonomía de los agentes y el comportamiento basado en servicios, hace de los sistemas multi-agentes una alternativa de modelado adecuada para desarrollar sistemas en ambientes distribuidos, abiertos y heterogéneos, con herramientas precisas para su implantación. La incorporación adicional de comportamientos inteligentes permite que afloren consideraciones desconocidas propias del problema abordado, lo que se traduce en nuevas tareas del sistema multi-agente que apunten al mejoramiento del servicio ofrecido para lograr el objetivo del sistema. El modelo de referencia aquí presentado permite la gestión de los planes de mantenimiento preventivo, usando la información proveniente de las tareas asociadas a la de detección, localización y diagnóstico de fallas en las diferentes instancias del proceso de producción, de acuerdo con las demandas actuales en el área de mantenimiento [6].

## 2. Aspectos Teóricos

### 2.1. Sistemas multiagentes

La teoría de agentes puede ser vista como una evolución de la inteligencia artificial en la búsqueda de aportar autonomía a los sistemas computacionales [7, 8]. Las cualidades más importantes de un Sistema Multi-Agentes (SMA) son: la Autonomía, capacidad de tener un comportamiento propio y reaccionar a los estímulos externos basándose en su estado interno; la Comunicación, capacidad para conversar utilizando un lenguaje basado en ontologías y realizar intervenciones asíncronas; la Reactividad, capacidad de emitir una acción inmediata al recibir una señal o percibir un estado en el ambiente; la **Inteligencia**, que le permite a los agentes analizar y tomar una acción de forma autónoma [8, 9]; la **Movilidad**, capacidad de mover el estado y código de los agentes en ejecución de un nodo a otro en un sistema distribuido [10, 11].

El modelado del SMF se fundamenta en la metodología MAS-CommonKADS [12], la cual ha sido extendida incorporándole nuevos elementos para el modelado de agentes, surgiendo una nueva propuesta denominada MASINA (Multi-Agent Systems-based INtegrated Automation) [13], que ofrece un conjunto de modelos que agrupan los elementos básicos y necesarios para describir al SMA: Modelo de agente, Modelo de tareas, Modelo de inteligencia, Modelo de comunicación y Modelo de coordinación

### 2.2. Sistemas de control distribuidos inteligentes basados en agentes

Los Sistemas de Control Distribuidos Inteligentes basados en Agentes (SCDIA) son plataformas de SMA diseñadas para sistemas de automatización industrial [5,14]. La Comunidad de Agentes de Control del SCDIA son (Figura 1): el Agente Medición, recoge la información necesaria para obtener el estado del proceso; el Agente Controlador, toma acciones basadas en el estado del sistema; Agente Coordinador, modifica las decisiones del agente Controlador, establece nuevos objetivos y servicios, coordina la comunidad de agentes; Agente Actuador, ejecuta las decisiones tomadas por el agente Controlador, agente Coordinador, y/o agentes Especializados; Agentes Especializados, que ejecutan las tareas especiales de la comunidad de los agentes.

El SCDIA propone, además, una comunidad de agentes llamada Medio de Gestión de Servicios (MGS) que permite la migración, la localización, la activación/desactivación de agentes, y el conocimiento del estado global del SCDIA [14], además de resolver y garantizar los principios fundamentales de los sistemas distribuidos tales como escalabilidad, tolerancia a fallos y seguridad.

En este trabajo se usan principalmente las funcionalidades genéricas de la comunidad de agentes de control.

## 3. Modelo de Referencia para el Manejo de Fallas basado en SMA

El modelo de referencia para la incorporación del SMF en el nivel supervisorio se muestra en Figura 2 [15].

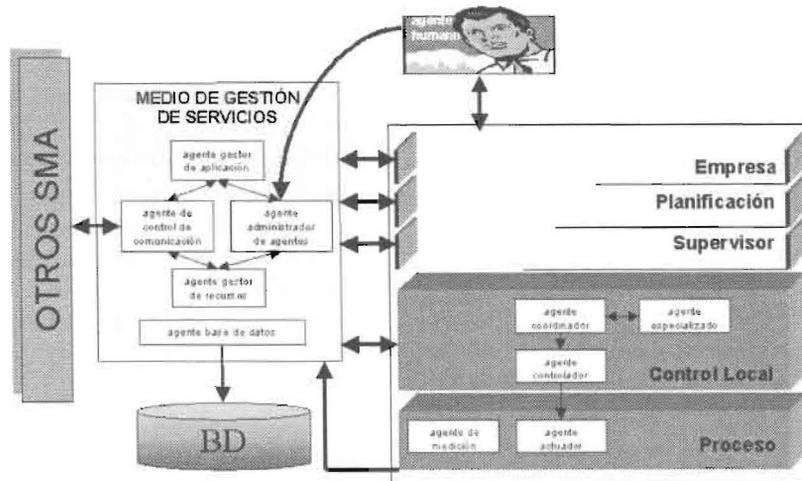


Figura 1. Modelo SCDIA.

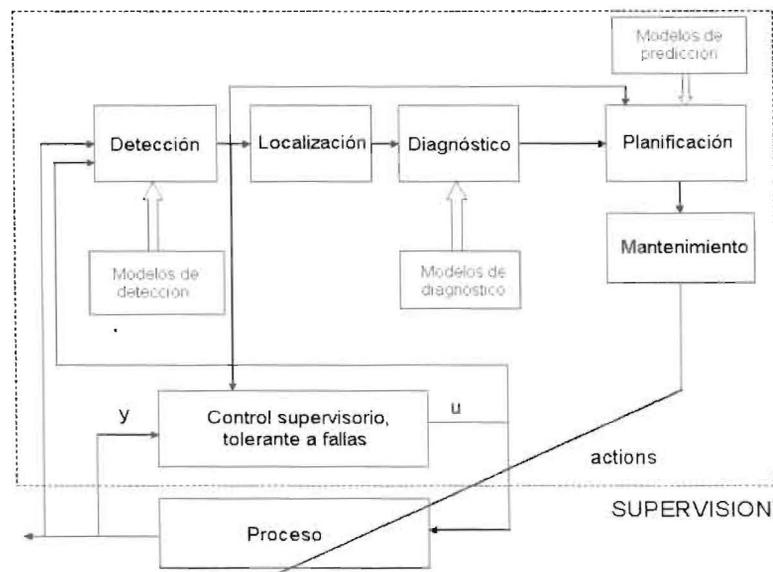


Figura 2. Modelo de Referencia para Manejo de Fallas.

El SMF debe permitir la ejecución de actividades relativas a: la detección de fallas abruptas o incipientes, el confinamiento de la ocurrencia de falla, el diagnóstico, la predicción de fallas funcionales a partir de fallas incipientes, la planificación de tareas de mantenimiento preventivo, y la ejecución del plan de mantenimiento que también involucran el ejecutar planes de contingencia en el caso de fallas abruptas o inesperadas (mantenimiento correctivo).

A partir del modelo de referencia de la Figura 2, se puede definir el flujo de actividades que se deberían realizar para continuamente ejecutar

planes de mantenimiento que pueden ir desde la aplicación de tareas de detección y diagnóstico (tareas de mantenimiento sobre condición), hasta la reparación de equipos (tareas de mantenimiento sobre condición). Estas tareas serían consideradas como "acciones" a ejecutar sobre el proceso. Si las "acciones" no son ejecutadas, el SMF debe redefinir el plan de mantenimiento. Si una falla abrupta ocurre (desviación funcional significativa) el SMF debe emprender una tareas de detección urgente, esto es, no contemplada en el plan de mantenimiento en ejecución. La Figura 3 muestra el diagrama de actividades del SMF,

obtenidas a partir del modelo de referencia de la Figura 2.

**3.1. Modelo de agentes para SMF**

A partir del las actividades definidas en la Figura 3, se definieron seis agentes a los cuales hemos denominado Agente Especializado Detector, Agente Especializado Localizador, Agente Especializado Diagnosticador, Agente Especializado Predictor, Agente Coordinador, Agente Controlador, Agente Actuador y Agente Observador:

El modelo de agentes, ver Figura 4, está basado en el modelo de referencia SCDIA, el cual ha sido adaptado al problema de manejo de fallas visualizándolo como un problema genérico de control en lazo cerrado. En la Figura 4, se observa que el SMF basado en agentes interactúa con el SCDIA a través del MGS.

Los agentes **Especializados** desempeñan tareas de detección, diagnóstico y predicción, usando para ello técnicas específicas conocidas por el agente. El agente **Coordinador** recolecta

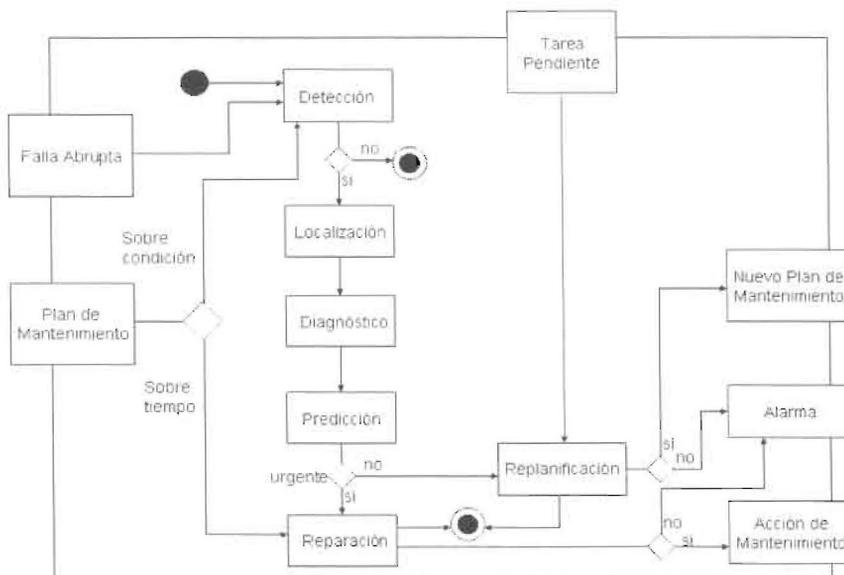


Figura 3. Diagrama de Actividades del SMF.

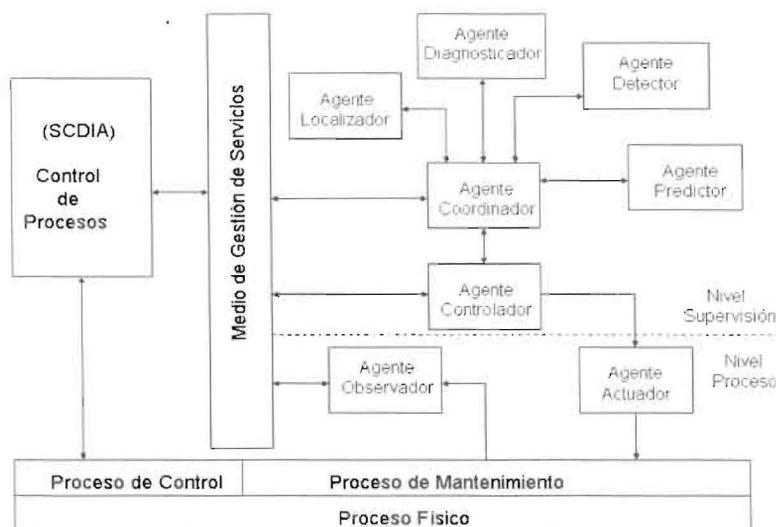


Figura 4. Modelo de Agentes.

Tabla 1  
Agente Coordinador

---

**Nombre:** Coordinador  
**Tipo:** Agente software.  
**Papel:** Tomar decisión para la planificación de las tareas de mantenimiento y coordinar todo lo que tiene que ver con las tareas del SMF.  
**Descripción:** El agente *Coordinador* recolecta la información obtenida por los agentes Detector, Localizador, Diagnosticador y Predictor de la(s) instancia(s) del sistema; basado en esta información toma la decisión sobre la realización de tareas de mantenimiento en el sistema, también efectúa la replanificación de la(s) tarea(s) de mantenimiento preventivo a realizar.

---

Tabla 2  
Objetivo del Agente Coordinador

---

**Nombre:** Planificar las tareas de mantenimiento a realizar en las instancias del sistema según disponibilidad de recurso.  
**Tipo:** Objetivo por condición  
**Parámetro de entrada:** Datos de los agentes del nivel supervisor del sistema y del agente Controlador.  
**Parámetro de salida:** El plan de mantenimiento y/o orden de mantenimiento correctivo (tareas urgentes).  
**Condición de activación:** Recibir información de los agentes especializados o del agente Observador.  
**Condición de finalización:** Establecer un macroplan de mantenimiento a realizar en el sistema.  
**Condición de éxito:** Obtener un macro plan de mantenimiento para lograr niveles de confiabilidad aceptables en las instancias supervisadas.  
 Condición de fracaso: Condición de éxito.  
 Lenguaje de representación: Lenguaje natural.  
**Descripción:** El agente Coordinador evalúa los diferentes escenarios para la elaboración o replanificación de los planes generales de mantenimiento preventivo y/o ordenar la ejecución de mantenimiento correctivo (tareas urgentes).

---

información de otros agentes y toma la decisión sobre la realización del mantenimiento correctivo (reparación), en caso contrario, efectúa la planificación (o replanificación) de la(s) tarea(s) de mantenimiento preventivo a realizar. El agente **Controlador** propone los pasos a seguir para la ejecución del plan de mantenimiento propuesto por el agente Coordinador, sobre un horizonte de tiempo determinado. El agente **Observador** recolecta información del proceso e identifica si el sistema se encuentra en un estado inválido, observa el estado del mantenimiento y detecta las fallas abruptas en el sistema. El agente **Actuador** ejecuta las acciones de mantenimiento.

La Tabla 1 resume las funcionalidades del agente Coordinador; la Tabla 2 presenta sus objetivos y las Tablas 3, 4 y 5 describen los servicios prestados por este agente. Para las características de los demás agentes, ver Cerrada y col. [15].

Tabla 3  
Servicio del Agente Coordinador

---

**Nombre:** Proporcionar Plan de mantenimiento.  
**Tipo:** gratuito, concurrente.  
**Parámetros de entrada:** datos provenientes de los agentes especializados y del agente Observador.  
**Parámetros de salida:** Macro plan de mantenimiento.  
**Lenguaje de representación:** Lenguaje natural.

---

Tabla 4  
Servicio del Agente Coordinador

---

**Nombre:** Replanificar mantenimiento en el sistema.  
**Tipo:** gratuito, concurrente.  
**Parámetros de entrada:** Lista de tareas pendientes (no realizadas) ó de tareas urgentes (debido a la detección de fallas funcionales abruptas).  
**Parámetros de salida:** La replanificación de la(s) tarea(s) de mantenimiento. Orden de mantenimiento correctivo.  
**Lenguaje de representación:** Lenguaje natural.

---

### 3.2. Modelo de Tareas

En la Tabla 6, se presentan las tareas específicas que debe realizar la Comunidad de Agentes de Manejo de Fallas.

La Tabla 7 describe una de las tareas fundamentales que debe realizar el agente Coordinador y constituye uno de los servicios fundamentales que debe proveer el SMA. El resto de especificaciones de las tareas de los agentes se detalla en Cerrada y col. [15].

### 3.3. Modelo de Inteligencia

En el SMF, inicialmente los agentes son agentes reactivos, pero se le puede integrar capacidades inteligentes. Las Tablas 8, 9, 10, se pre-

Tabla 5  
Servicio del Agente Coordinador

---

**Nombre:** Llamar a agentes especializados.  
**Tipo:** Gratuito, concurrente.  
**Parámetros de entrada:** Condición de que se necesita realizar una tarea Diagnostico, Localización, Detección, Predicción DLDP en el sistema.  
**Parámetros de salida:** Macro Plan de Mantenimiento a realizar en el sistema.  
**Lenguaje de representación:** Lenguaje natural.

---

Tabla 6  
Tareas del SMF

---

1. Tareas de Observación	1.1. Identificar Fallas Funcionales Abruptas 1.2. Calcular índices de funcionamiento 1.3. Determinar el estado del mantenimiento
2. Tareas de Detección	2.1. Llevar estadísticas sobre la ocurrencia de fallas 2.2. Seleccionar Técnica de detección 2.3. Incorporar nuevos métodos de detección
3. Tareas de Localización	3.1 Ubicar Falla
4. Tareas de Diagnóstico	4.1. Llevar estadísticas de los modos de fallas 4.2. Llevar estadísticas sobre las causas de las fallas 4.3. Realizar análisis sobre las consecuencias de las fallas en el sistema 4.4. Reajustar modelos de diagnósticos 4.5. Incorporar nuevos modelos de diagnóstico 4.6. Incorporar nuevos modos de fallas 4.7. Incorporar nuevas causas de fallas 4.8. Identificar modos de fallas y sus causas
5. Tareas de Predicción	5.1 Calcular curvas de confiabilidad en equipos 5.2. Generar índices de confiabilidad del proceso 5.3. Incorporar nuevos modelos de predicción
6. Tareas de Control	6.1 Proponer Plan de Mantenimiento 6.2. Procesar Plan de Mantenimiento
7. Tareas de Coordinación	7.1. Proponer Macro Plan de Mantenimiento 7.2. Evaluar Recursos 7.3. Ordenar Realización de Tarea DLDP 7.4. Ordenar Mantenimiento Correctivo 7.5. Replanificar el Mantenimiento preventivo
8. Tareas de Actuador	8.1. Ejecuta las Tareas de Mantenimiento 8.2. Ejecuta Planes de Contingencia

---

senta la estructura del modelo de inteligencia para estos agentes.

### 3.4. Modelo de Coordinación

A través de este modelo representamos las estructuras de comunicación del sistema y describimos las conversaciones, a través de un *diagrama de interacción* de UML y los protocolos y lenguajes asociados a las comunicaciones. En la Figura 5 se presenta el diagrama UML para la

Tabla 7  
Tarea Replanificar el Mantenimiento

**Objetivo:** Replanificar las tareas de mantenimiento que no se pudieron realizar en el sistema.  
**Precondición:** Existe una cola de tareas que no se realizaron por falta de recursos o debido a la ocurrencia del algún evento imprevisto.  
**Frecuencia:** Relativa a la información provista por el agente *Observador*.  
**Descripción:** El agente *Coordinador* replanifica las tareas de mantenimiento que no se pudieron realizar.

Tabla 8  
Experiencia de los Agentes

**Representación:** Reglas.  
**Tipo:** Basada en Casos.  
**Grado de Confiabilidad:** Medianamente confiable.  
**Esquema de Procesamiento:** Reajuste de parámetros de conocimiento e incorporación de nuevos modelos.

Tabla 9  
Mecanismos de Aprendizaje de los Agentes

**Tipo:** Adaptativo.  
**Técnica de Representación:** Reglas.  
**Fuente de Aprendizaje:** Condiciones de las instancias en el sistema, éxitos y/o fracasos ocurridos durante la detección, localización, diagnóstico ó predicción de una falla en el sistema.  
**Mecanismo de Actualización:** Retroalimentación, las experiencias previas son utilizadas para actualizar el conocimiento.

conversación Replanificación de Tarea. La Tabla 11 muestra la estructura del modelo de coordinación en detalle; para la descripción de las demás conversaciones ver Cerrada y col. [15]. Otras conversaciones fundamentales que deben darse en el SMF son las referentes a la ejecución de órdenes urgentes (Figura 6), y a la de ejecución de tareas sobre condición (Figura 7).

La coordinación para implantar estas conversaciones es centralizada, por defecto, a través de mecanismos de pases de mensajes y protocolos para consultas e información entre los agentes que participan en la conversación. La comunicación entre estos agentes es directa usando el metalenguaje KQML usando la ontología propia del problema de manejo de fallas, la cual describe las entidades, conceptos y relaciones empleadas para satisfacer las peticiones de servicio en el SMF.

### 3.5. Modelo de Comunicación

Cada interacción entre dos agentes se realiza mediante el envío de un *mensaje*, una estructura de datos que intercambian los agentes para comunicarse, y tiene asociado un *acto de habla* referido a la intención del emisor del mensaje al transmitir el contenido del mismo. La Tabla 12 define uno de los actos de habla establecidos en la conversación Replanificación de Tarea; los de-

Tabla 10  
Mecanismo de Razonamiento de los Agentes

**Fuente de Información:** Resultados previos obtenidos por los agentes del sistema manejador de fallas.  
**Fuente de Activación:** Las Tareas de detección, localización, diagnóstico o predicción.  
**Tipo de Inferencia:** Basada en Reglas.  
**Relación Tarea-Objetivos:** Decide si el algoritmo utilizado es bueno para la detección, localización, diagnóstico o predicción de la falla en el sistema.  
**Estrategia de Razonamiento:** Coordinar estrategias para realizar detección, localización, diagnóstico o predicción de la falla en el sistema. Enfrentar situaciones desconocidas para enriquecer la experiencia. De manera, deductiva o inductiva, según el caso.

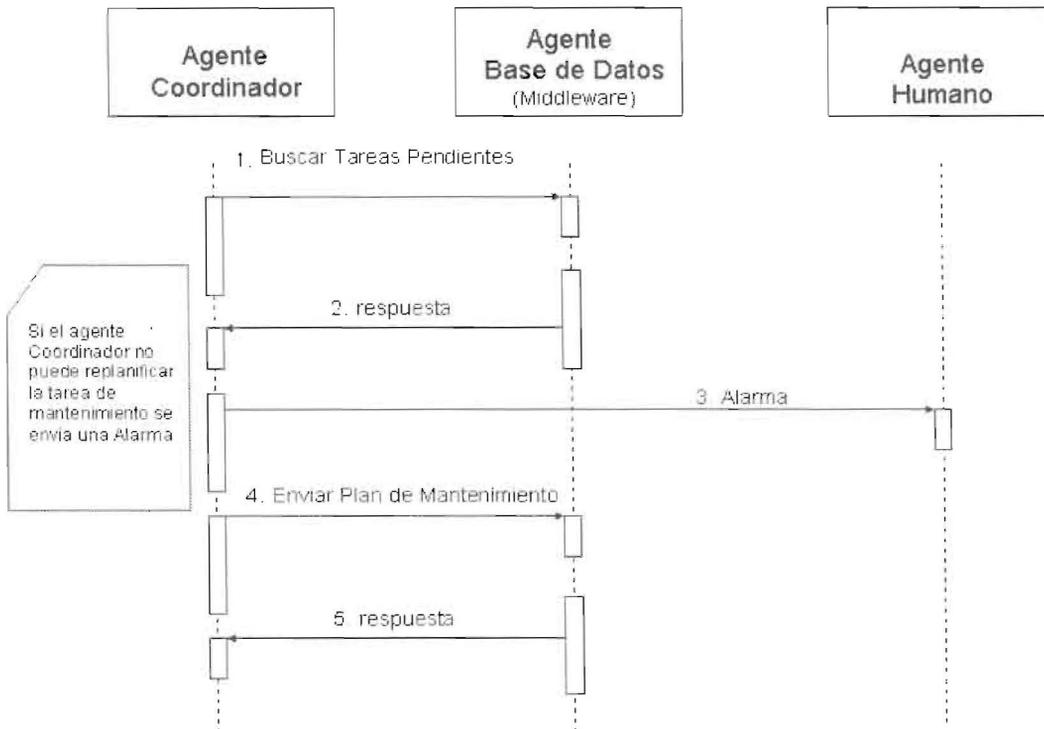


Figura 5. Diagrama de Interacción de la Conversación Replanificación de Tarea.

Tabla 11

Estructura de la conversación Replanificación de Tarea

<p><b>Objetivo:</b> Replanificar las tareas de mantenimiento que no hayan sido realizadas en el sistema.</p> <p><b>Agentes:</b> Controlador, Base de Datos (SCDIA gestión de servicio) y Humano.</p> <p><b>Iniciador:</b> Coordinador.</p> <p><b>Actos de Habla:</b> Buscar Tareas Pendientes, Alarma, Enviar Plan de Mantenimiento.</p> <p><b>Precondición:</b> No haberse realizado una tarea de mantenimiento en el sistema.</p> <p><b>Condición de terminación:</b> Si no se pudo realizar la replanificación de la tarea se da una alarma, de lo contrario, se almacena el plan de mantenimiento.</p> <p><b>Descripción:</b> El agente Coordinador busca la información proveniente del agente Base de Datos, sobre las tareas de mantenimiento que no fueron realizadas, para luego replanificarlas, y guardar dicha replanificación en un nuevo plan de mantenimiento, si no se puede replanificar se da una alarma.</p>
---

más actos de habla están especificados en Cerrada y col. [15].

#### 4. Implementación del SMF basado en SMA

El SMF basado en SMA propuesto en este trabajo ha sido implementado sobre la plataforma de desarrollo JADE (Java Development Framework) [16], una herramienta conforme a los estándares de la FIPA para crear aplicaciones de SMA que provee soporte para esquemas de codificación y ontologías. JADE soporta Invocación de Métodos Remotos (RMI), CORBA IIOP (Common Object Request Broker Architecture Internet Inter-ORB Protocol) y protocolos de transporte de notificación de eventos; soporta la planificación compleja de tareas de agentes, así como también la integración con la máquina de razonamiento JESS (Java Expert System Shell). El código fuente esta disponible bajo LGPL (Lesser General Public License) [<http://sharon.eselt.it/projects/jade/home.htm>].

Para efectos de la implementación del SMF de definieron 4 agentes adicionales: Agente Principal (AP), Agente Ejecutor (AE), Agente Monito-

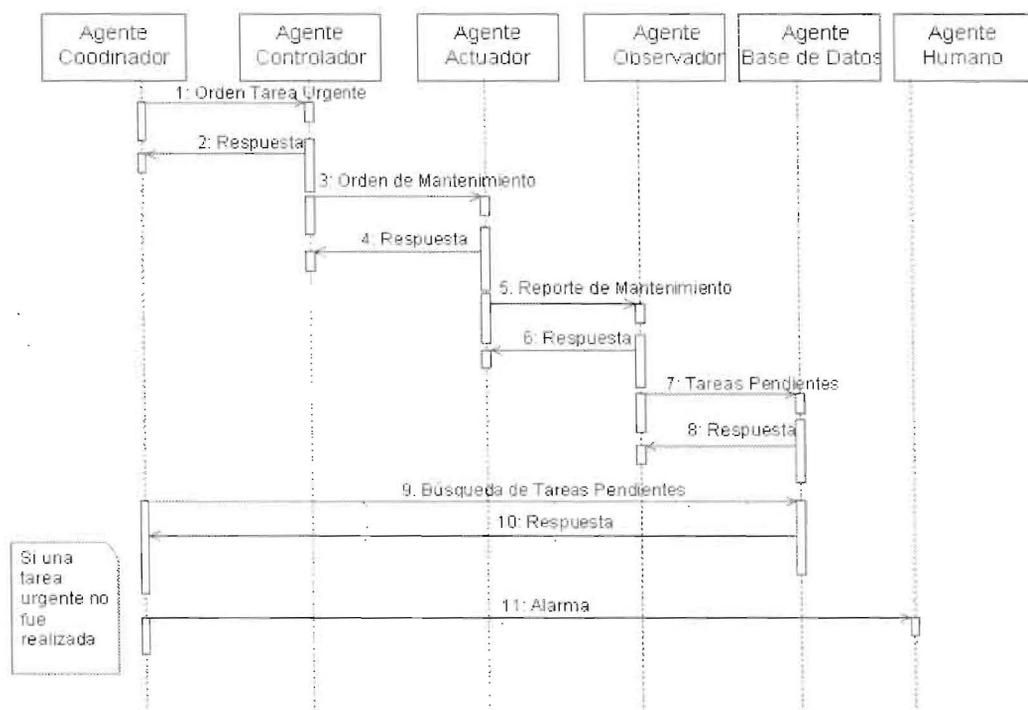


Figura 6. Diagrama de Interacción de la Conversación Orden Urgente.

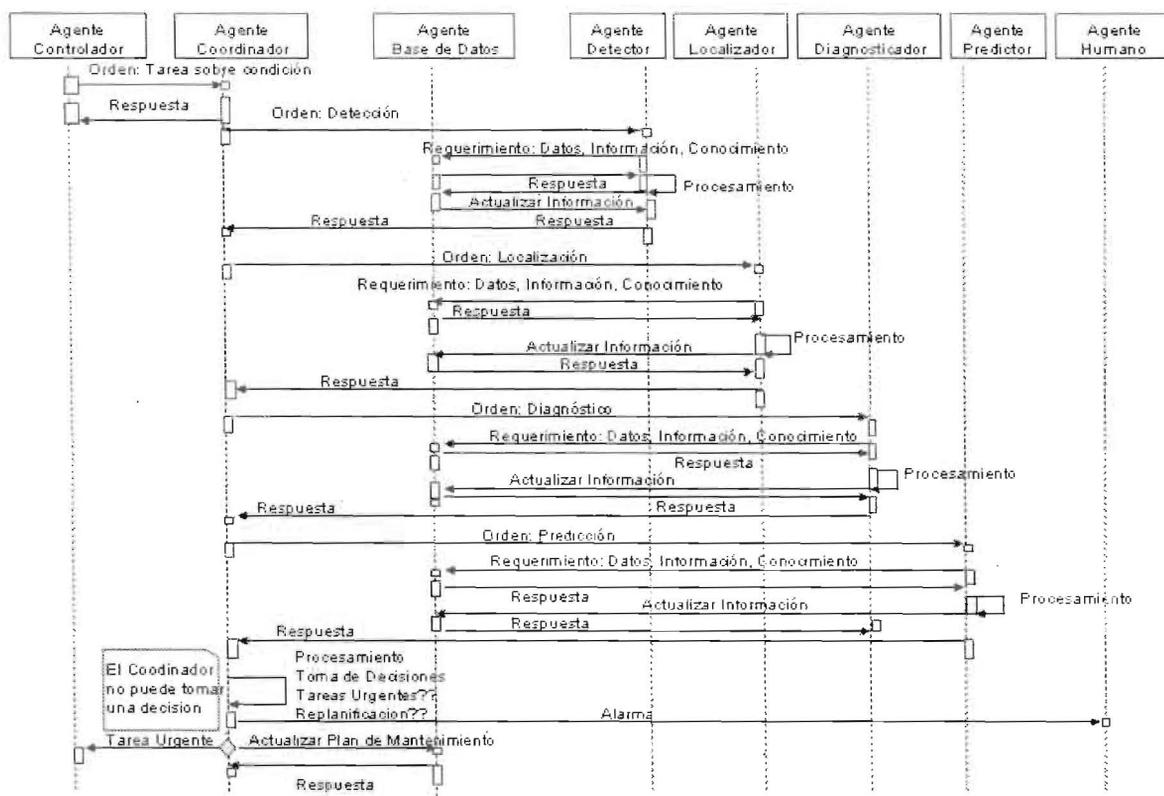


Figura 7. Diagrama de Interacción de la Conversación Ejecutar Tarea Sobre Condición.

Tabla 12

## Acto de Habla Buscar Tareas Pendientes

**Nombre:** Buscar Tareas Pendientes.

**Tipo:** Consulta.

**Objetivo:** Buscar en la base de datos las tareas de mantenimiento pendientes a realizar en el sistema.

**Agentes:** Coordinador - Base de Datos (SCDIA gestión de servicio).

**Iniciador:** Coordinador.

**Precondición:** Existir tareas pendientes en el sistema.

**Condición de terminación:** El agente *Coordinador* recibe la información sobre las tareas de mantenimiento pendientes en el sistema por el agente *Base de Datos*.

**Conversaciones:** Replanificación de Tarea, Tareas Urgentes.

**Descripción:** El agente *Coordinador* solicita la información sobre las tareas de mantenimiento pendientes que están almacenadas en la base de datos.

reo (AM) y Agente Configuración (AC), que implementan la interfase gráfica para construir, ejecutar, visualizar y configurar los agentes del SMF. Para la construcción del código, se utilizaron los agentes de la Comunidad de Generación de Código del SCDIA [17]. Estos agentes se incorporan a la plataforma JADE, y a través de ésta interactúan entre ellos con el fin de manejar los Agentes del SMF basados en el SCDIA, de acuerdo a la especificación presentada. Actualmente, se están desarrollando los casos de estudio que permitirán depurar el SMF propuesto en este trabajo.

En el diseño e implementación de este prototipo se asume que los principios básicos de los sistemas distribuidos tales como escalabilidad, seguridad y tolerancia a fallas son resueltos y garantizados a través de la comunidad de agentes del medio de gestión de servicios [14], por lo que no se detalla en este trabajo. Dicha comunidad de gestión de servicios es soportada por un sistema operativo distribuido a tiempo real y es la encargada de establecer la comunicación entre el SMF y otros SMA que pueden también otros SMF o SMA asociados al control, la planificación, entre otros.

## Conclusiones

En este trabajo ha sido presentada la concepción y análisis de un sistema para el manejo de fallas basado en SMA. El problema de manejo de fallas en sistemas industriales puede resultar un problema altamente distribuido, en el caso de sistemas complejos, por lo cual el uso de SMA para implementar sistemas de manejo de fallas resulta ideal, puesto que este enfoque permite abordar problemas distribuidos de manera eficiente gracias a las características ya mencionadas de los agentes tales como cooperación, inteligencia y autonomía; los principios básicos de los sistemas distribuidos tales como escalabilidad, seguridad y tolerancia a fallas son resueltos y garantizados a través de la comunidad de agentes del medio de gestión de servicios.

El modelo concebido en este trabajo ha sido desarrollado en un marco genérico que ha sido propuesto para sistemas de control distribuido inteligente. Así, el problema de manejo de fallas ha sido pensado como un problema de control en lazo cerrado. En este sentido, el sistema ejecuta un conjunto de tareas (acciones) que permiten la planificación de tareas de mantenimiento y la aplicación de tareas específicas tales como detección, diagnóstico y predicción de fallas. El modelo de referencia permite la implantación del sistema de manejo de fallas en el nivel de supervisión como parte de un esquema de integración en la automatización de procesos.

Las características del sistema de manejo de fallas basado en agentes y el carácter genérico del modelo de referencia propuesto, permite adecuar el SMF a cualquier esquema integrado de automatización industrial incluso aquellos distribuidos geográficamente sin cambiar la plataforma actual de la empresa. Por otro lado, aplicaciones existentes orientadas a la ejecución de técnicas de detección y/o diagnóstico pueden acoplarse al SMA usando técnicas de integración.

En el marco de la gestión de tareas de mantenimiento de un proceso industrial, los agentes del SMF realizan tareas y alcanzan sus objetivos para proporcionar una ayuda eficaz a los operadores en el proceso de detección-diagnóstico-decisión, así como en la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento sobre el sistema

de control, permitiendo la automatización del proceso de mantenimiento del proceso.

La metodología MASINA ha permitido proponer un conjunto de modelos que permiten describir las principales características del SMA para el manejo de fallas, con una estructura genérica que permite implementarlos en el proceso de automatización; por otro lado, la plataforma de desarrollo JADE permitió la implementación del SMF, obteniéndose un prototipo computacional con interfase gráfica para construir, ejecutar, visualizar y configurar los agentes del SMF. Este prototipo está actualmente sometido a pruebas.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos I-621-98-02-A del CDCHT-ULA y 97003817 del programa Agenda Petróleo del FONACIT. Los autores agradecen el soporte financiero que ha sido ofrecido para el desarrollo del mismo.

### Referencias Bibliográficas

1. T.J Williams, P. Bernous, J Brosvic, D. Chen, G. Doumeingts, Architectures for integrating manufacturing activities and enterprises, *Computer in Industry* 24, pp.11-39, 1994.
2. J. Aguilar, M. Cerrada y K. Morillo, Intelligent Hybrid Systems: A Reliability-Based Failure Management Application, *Journal of Advanced Computational Intelligence*, 5 (6), pp. 307-314, 2001.
3. J. Aguilar y M. Cerrada, Un Sistema Clasificador Difuso para el Manejo de Fallas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, 23(2), pp. 98-108, 2000.
4. C. Bravo, J. Aguilar, F. Rivas, M. Cerrada. Diseño de una Arquitectura de Automatización Industrial Basada en Sistemas Multiagentes. *Memorias del IV Congreso de Automatización y Control CAC'2003*. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela, 2003.
5. J. Aguilar, M. Cerrada, F. Hidrobo, G. Mousalli, F. Rivas, Application of the Agent Reference Model for Intelligent Distributed Control System, in: N. Mastorakis and L. Pecorelli-Peres (Eds.), "Advances in System Sciences: Measurements, Circuits and Control", p.p. 204-210, WSES Press 2001.
6. J. Moubray, "Reliability-Centered Maintenance". Industrial Press. 1999.
7. G. Weiss, "Multiagent Systems". The MIT Press. 1999, Massachusetts, USA.
8. B. Waterbury, Artificial Intelligence Expands Frontiers in Asset Management, *Control Magazine*, July, 2002.
9. J. Bigus y B. Jennifer "Constructing Intelligent Agents Using Java". Second Edition. Wiley Computer Publishing, Canada. 2001
10. J. Nelson, "Programming Mobile Objects with Java". John Wiley. 1999.
11. B. Spell, "Professional Java Programming". Wrox Press. 2001.
12. C. Iglesias, Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagentes, Ph.D Thesis, Dpto. de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid-España, Febrero 1998.
13. J. Aguilar, M. Cerrada, F. Hidrobo, F. Rivas, Especificación detallada de los agentes del SCDIA, Technical Report, Grant Project Agenda Petróleo No. 97003817, CEMISID-Universidad de Loas Andes. Mérida-Venezuela, 2004.
14. J. Aguilar, G. Mousalli, V. Bravo y H. Díaz, Agentes de control y de gestión de servicio para el modelo de referencia SCDIA, *Memorias del II Simposio Internacional de Automatización y Nuevas Tecnologías, TECNO-2002*, pp. 45-50, Mérida-Venezuela, 2002.
15. M. Cerrada, J. Aguilar, J Cardillo, R. Faneite, Agent-based reference model for fault management, technical report, Grant Project I-621-98-02-A, CDCHT-ULA, Mérida-Venezuela, 2002.
16. <http://jade.cselt.it>
17. W. Zayas, Diseño e Implementación de la Comunidad de Agentes de Generación de Código del SCDIA. MSc. Thesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela, 2004.

Recibido el 18 de Enero de 2005

En forma revisada el 30 de Octubre de 2006