

Implantando sistemas de control con agentes inteligentes

Control system implementation with intelligent agents

Ríos-Bolívar*, Addison; Cerrada, Mariela; Narciso, Flor; Hidrobo¹, Francisco y Aguilar, José

¹ Facultad de Ciencias, ULA

Facultad de Ingeniería, ULA, Escuela de de Sistemas

Mérida 5101, Venezuela

*ilich@ula.ve

Recibido: 26-04-2007

Revisado: 23-09-2008

Resumen

En esta contribución se presenta un enfoque de desarrollo de sistemas de control y supervisión de procesos industriales basado en agentes inteligentes. En primer lugar, se define la plataforma general de implantación que soporta al sistema multiagente. A partir de allí se conciben aplicaciones como sistemas multiagentes especializados, definidos para coordinar, ejecutar y evaluar tareas de control y supervisión necesarias en el procesamiento de la información del proceso y la toma de decisiones. Los agentes de control y supervisión interactúan con un sistema multiagente que modelan los elementos de las unidades de producción a través de abstracciones lógicas y funcionales de los procesos. Los agentes se construyen utilizando la metodología MultiAgent Systems for INtegrated Automation (MASINA) y el Lenguaje de Modelado Unificado (UML). Este procedimiento incluye Conceptualización (diagramas de casos de uso y de actividades), Modelo de Agente, Modelo de Tareas, Modelo de Coordinación (diagramas de interacción) y Modelo de Comunicación.

Palabras clave: Agentes inteligentes, sistemas multiagentes, control y supervisión, automatización industrial.

Abstract

This article presents an approach to the development of control and supervision systems based on intelligent agents for industrial processes. We begin by defining a general implantation platform that supports the whole multiagent system. This platform receives applications such as specialized multiagent systems for coordination, execution, and evaluation of the control and supervision tasks necessary for the decision-making and the information processing related to the industrial process. The control and supervision agents interact with a multiagent system that models the elements of the production units through functional and logical abstractions of the real industrial processes. The agents are constructed using the 'MultiAgent Systems INtegrated Automation' (MASINA) and the 'Unified Modeling Language' (UML). The construction includes Conceptualization (use case and activities diagrams), Agent Model, Tasks Model, Coordination Model (interaction diagrams) and Communication Model.

Key words: Intelligent agents, multiagent systems, control and supervision, industrial automation.

1 Introducción

Los sistemas de automatización industrial son aplicaciones que se caracterizan por requerimientos bien específicos de productividad y de seguridad operacional. Esto es, la automatización industrial debe satisfacer requerimientos de seguridad, confiabilidad, eficiencia y calidad (Aguilar et al., 2004). Por otro lado, para la automatización de procesos se usan sistemas de software y hardware de gran escala, complejos, distribuidos y persistentes, los cuales son definidos en función de las características de los procesos técnicos a

ser controlados y supervisados (Pinto, 2000).

El rápido desarrollo de componentes de hardware de alta capacidad y de tecnologías de información y comunicación (TIC) liderizan una fuerte necesidad de integración en sistemas automáticos, donde se requieren tareas de supervisión y control altamente complejas. Esto ha obligado a pensar en nuevos paradigmas basados en la teoría de inteligencia artificial distribuida para el diseño de herramientas que implementen *control y supervisión inteligente*. De esa teoría, el paradigma de desarrollo de software orientado a agentes permite diseñar sistemas sofisticados y complejos.

Un *Agente de Software* es una entidad de software que encapsula datos y códigos, y se puede ejecutar dentro de su propio hilo (*thread*) de control. La decisión de cómo y cuándo realizar una acción es controlada por el mismo agente. Esto es, el agente tiene la capacidad de ejecutar una acción de manera autónoma sin ser invocado externamente. Puede ser visto como un *objeto proactivo*. Estas propiedades divergen de las entidades de software pasivas (como son conocidos clásicamente a los objetos), en las cuales se requiere de una interacción remota (Albert et al., 2003). Las propiedades más importantes de los agentes son: autonomía, comunicación, sociabilidad, capacidad de reacción, inteligencia y movilidad. Estas propiedades permiten que la tecnología de agentes pueda ser utilizada para satisfacer requerimientos para la automatización de procesos, tales como la supervisión y el control inteligente (Aguilar et al. 2005; Hidrobo et al., 2005).

Típicamente, las tareas de automatización de procesos no han sido desarrolladas como una aplicación de las nuevas tecnologías de información, entre las que se encuentran los agentes inteligentes. Sin embargo, algunas investigaciones se han orientado hacia el uso de la tecnología de agentes en la implementación de sistemas de automatización de procesos (Aguilar et al., 2005; Albert et al., 2003; Bratoukhine et al., 2002; Wagner, 2002; Wagner, 2003). En general, las aplicaciones se han caracterizado por la realización de un acoplamiento entre los principios operacionales de los sistemas de automatización de procesos y los agentes inteligentes, permitiendo obtener sistemas distribuidos y de ingeniería complejos.

Los sistemas automatizados se pueden representar mediante diferentes niveles, cada uno de los cuales tiene características operacionales adecuadas: *nivel de dispositivos de campo* (nivel operacional), para la captura de la información de los procesos, *nivel de control supervisorio* y *optimización* (nivel táctico), donde se ejecutan las tareas de control, y *nivel de gerencia de los procesos* (nivel estratégico), donde se evalúan y desarrollan las estrategias de producción. Esta arquitectura de operación jerárquica permite la distribución de las funcionalidades de las actividades de automatización a través de la descripción de las diferentes tareas operacionales, tácticas y estratégicas. Fundamentalmente y de manera tradicional, la inteligencia reside en los niveles superiores (Ríos-Bolívar et al., 2005).

En este mismo sentido, el paradigma de agentes inteligentes es una manera natural de descomposición de sistemas y una alternativa razonable para implantar las funcionalidades de automatización en los diferentes niveles (Bravo, 2005; Wagner, 2002). Así, los niveles de un sistema automatizado se pueden representar por sub-sistemas y componentes de los sub-sistemas, los cuales son definidos por agentes y comunidades de agentes. Las interacciones entre sub-sistemas y componentes son definidas por mecanismos de cooperación, coordinación y negociación. Por medio de mecanismos explícitos se establecen las relaciones entre sub-sistemas y componentes. Por lo tanto, la inte-

ligencia puede ser distribuida en los distintos niveles. De esta manera, el paradigma de agentes inteligentes es adecuado para cumplir con los requerimientos de los sistemas de automatización actuales, donde la reconFig.bilidad y la flexibilidad, conjuntamente con la inteligencia, son aspectos importantes a satisfacer (Jennings y Bussmann, 2003; Klostermeyer, 2003; Seilonen et al., 2003a; Wagner, 2003).

En este contexto, es bien sabido que los controladores de procesos actuales son sistemas autónomos reactivos, por lo tanto constituyen una aplicación natural para evolucionar hacia agentes inteligentes. No es sorprendente, entonces, desarrollar aplicaciones de control de procesos basadas en agentes inteligentes.

Para el control inteligente de procesos es necesario satisfacer múltiples objetivos, para lo cual se deben considerar diferentes escenarios de operación. La habilidad de un sistema de control de operar en múltiples ambientes y con múltiples objetivos, partiendo del reconocimiento de la situación específica y sirviéndola adecuadamente, es lo que caracteriza la inteligencia del sistema de control. Esta cualidad demanda que los sistemas de control y supervisión satisfagan requerimientos de adaptabilidad, flexibilidad, autonomía, operatividad concurrente y colaborativa que son los aspectos que más resaltan de los agentes inteligentes (Aguilar et al. 2005). Tradicionalmente, las aplicaciones de agentes en control y supervisión de procesos no se diseñan para que satisfagan esas características, por el contrario, se parte de que los controladores son sistemas reactivos y a partir de allí se definen los agentes para las tareas de supervisión de esos controladores (Seilonen et al., 2003b). En este trabajo se formula una arquitectura que permite el desarrollo de Sistemas Multiagentes (SMA) para el control y supervisión de procesos industriales, que permiten la operación segura y óptima en base a los objetivos de producción.

2 Marco metodológico

El esquema de desarrollo se fundamenta, primeramente, en la definición de la arquitectura de implantación del SMA en un ambiente de automatización industrial, y en segundo lugar, en la definición y especificación de los agentes usando la metodología MASINA y el lenguaje UML (Aguilar et al., 2007; Muller, 1997).

Según MASINA, la definición de los agentes que conforman el SMA se realiza en la fase de conceptualización, utilizando diagramas de casos de uso y de actividades de UML. La especificación detallada de los agentes definidos en esta fase se realiza en la fase de análisis a través del modelo de agente, modelo de tarea, modelo de inteligencia, modelo de coordinación (diagrama de interacción de UML) y modelo de comunicación. El diseño de los agentes se realiza utilizando la Técnica de Desarrollo de Sistemas de Objetos (TDSO), la cual incluye el diagrama de clases de UML (Besembel, n.d.).

En el marco de este trabajo y con el objetivo de fijar las bases que conllevan a la implantación de los agentes, se

presentará la fase de conceptualización del Agente Proceso, del Agente Control y del Agente Supervisor, ubicados en el nivel superior de la arquitectura de implantación, y el modelo de coordinación, descrito por diagramas de interacción, definido en la fase de análisis, el cual permite caracterizar las conversaciones entre agentes necesarias para el cumplimiento de los servicios y objetivos del agente dentro del SMA. Asimismo, se presentan algunos diagramas de clases que corresponde a la fase de diseño

3 Arquitectura de implantación

Las principales funcionalidades de un sistema de control y supervisión de procesos son: monitorear las variables de operación, procesar dichas variables para generar comandos de control, transmitir los comandos de control, permitir la reconFig.ción de los algoritmos de control, detectar y diagnosticar condiciones anormales de operación. Estas funcionalidades y tareas pueden ser distribuidas y expresadas a través de una estructura de interacción concurrente y colaborativa.

Desde el punto de vista de uso de agentes inteligentes, se puede definir una arquitectura de funcionamiento, tal como se muestra en la Fig. 1, donde se distinguen tres niveles funcionales: nivel de campo donde se encuentran los elementos actuadores y sensores, nivel de *Middleware* o Medio de Gestión de Servicios (MGS) y nivel de aplicaciones de agentes inteligentes.

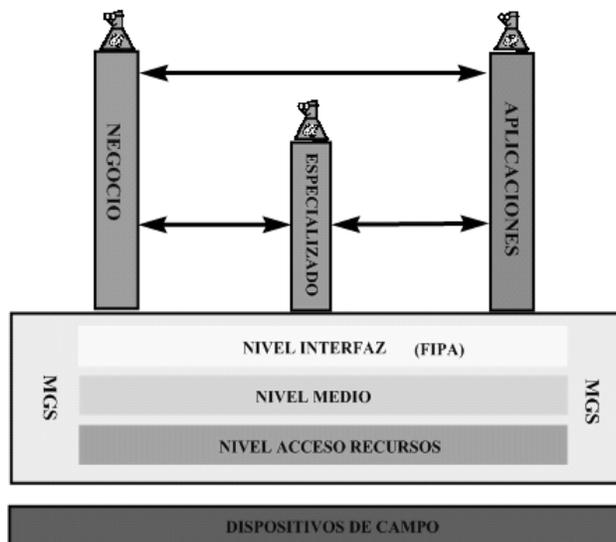


Fig. 1. Arquitectura funcional de implantación

El *Middleware* representa el conjunto básico de módulos de software que implantan las abstracciones mínimas para la especificación, implantación y manipulación de los agentes y su interacción con los dispositivos de campo objetos. Este nivel está compuesto, a su vez, por tres niveles (Aguilar et al. 2005): *Nivel Interfaz*, *Nivel Base* y *Nivel de*

Acceso a Recursos. El Nivel Interfaz, el cual se implanta bajo la especificación FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://www.fipa.org>), se encarga de establecer las pautas de conversación entre los componentes del sistema distribuido y el SMA (Aguilar et al., 2005).

El Nivel Base constituye el núcleo del sistema distribuido, provee servicios de software que requieren los agentes para poder interactuar entre sí y con el nodo de ejecución y, a través de un sistema operativo tiempo real, maneja las funcionalidades de acceso a hardware específico que requiera el sistema y las comunicaciones con los dispositivos sensores y actuadores (Aguilar et al., 2005).

El Nivel de Acceso a Recursos representa el conjunto de servicios que provee el sistema operativo, incluyendo el manejo de tareas de tiempo real.

Por otro lado, el Nivel Superior de la arquitectura está conformado por los agentes de aplicación. Allí se definen las comunidades de agentes o SMA en base a sus funcionalidades. En el caso particular de este trabajo se definen tres agentes: *Agente Proceso* o Agente de Negocio, Agente Control y Agente Supervisión, podrían definirse otros, tales como agente optimización, aplicaciones especializadas y/o legadas. Estas comunidades interactúan con el *Middleware* a través de la Nivel Interfaz (Aguilar et al., 2005).

3.1 Agente proceso

Los Agentes Proceso o Negocio modelan los elementos de las unidades de producción. Cada unidad de producción está representada por un Agente Proceso. La composición de un Agente Proceso está basada, por un lado, en una división física del proceso, y por otro lado, en una división funcional de las tareas del agente. Así, un Agente Proceso podría representar desde dispositivos con capacidades de funcionamiento limitadas, como los sensores, actuadores u otros elementos de instrumentación de campo, hasta procesos complejos, tales como una unidad de producción petrolera, una caldera, etc.

Una ventaja que se extrae de esta representación es que, a partir de un modelo del proceso, un Agente Proceso puede ser usado para establecer comparaciones entre el comportamiento real y el comportamiento emulado. Así, éste estaría en capacidad de invocar actividades de manejo de condiciones anormales cuando las comparaciones generan residuos que estén por encima de un nivel mínimo aceptado. Esto con el fin de mejorar el desempeño y minimizar efectos adversos.

Dado que el Agente Negocio está muy relacionado con el comportamiento real de los procesos, la transmisión y recepción de información se puede vincular a tareas de tiempo real, tal como se realiza en los sistemas de automatización industrial conocidos: Unidades de Transmisión Remota (RTU), estaciones maestras, SCADA, etc.

Es importante destacar que los Agentes Proceso deben ejecutar y solicitar tareas dependiendo de sus roles y funciones. El enviar y recibir solicitudes se vinculan a las co-

municaciones asíncronas (dependientes de eventos). El procesar información (conocimiento) es una actividad que puede ser asíncrona o síncrona, dependiendo de las exigencias del proceso y del rol del agente. En las Fig.s 2 y 3 se presentan el diagrama de caso de uso y el diagrama de actividades del Agente Proceso.

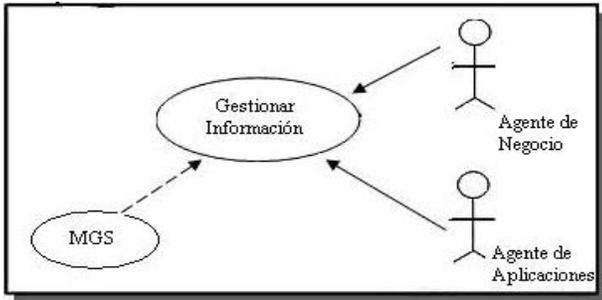


Fig. 2. Diagrama de caso de uso del Agente Proceso

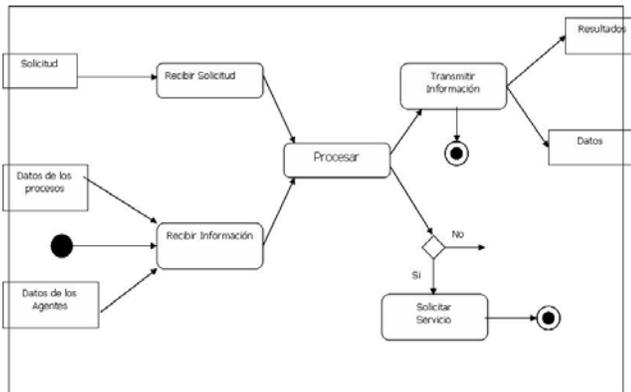


Fig. 3. Diagrama de actividades del Agente Proceso

El caso de uso *Gestionar Información* se encarga de la gestión y procesamiento de la información, asociada y proveniente de los procesos de campo, así como también la suministrada por otros agentes. Los actores con los que interactúa son, en este caso, otros Agentes Proceso y de Aplicaciones.

Las tareas básicas de este agente son: recibir información, recibir solicitud, transmitir información, solicitar servicio de procesamiento. Las interacciones de este agente con otras comunidades de agentes se muestran en la Fig. 4.

3.2 Agente Control

Una de las tareas fundamentales de cualquier sistema de automatización industrial es el control de procesos. Ella se inspira, de igual manera, sobre la base de satisfacer requerimientos de seguridad (*estabilidad* de los procesos) y de productividad (*desempeño* de los procesos).

Para implantar sistemas de control es necesario disponer de la información de campo, que en el caso que se pro-

pone se realiza a través del Agente Proceso.

El Agente Control se diseña como un SMA conformado por los siguientes agentes: Agente Diseñador del Control, Agente Ejecutor del Control y Agente Evaluador del Control.

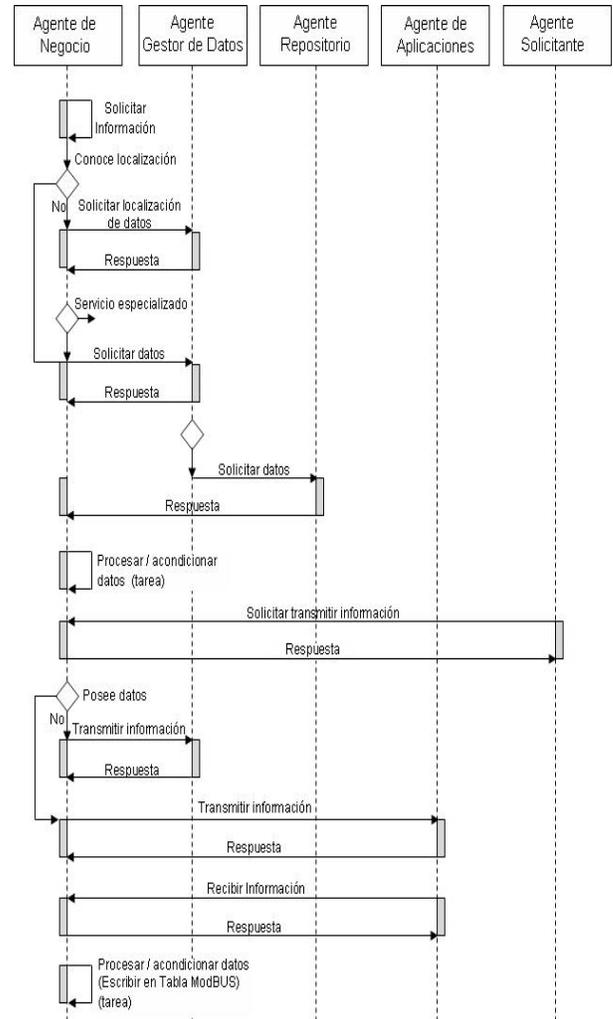


Fig. 4. Diagrama de interacción del Agente Proceso

3.2.1 Agente diseñador del control

Este agente se encarga de diseñar y/o ajustar planes de control a ejecutar sobre un horizonte de tiempo finito que garanticen el buen desempeño del proceso de producción, en términos de los requerimientos de control (estrategias específicas de control y parámetros de controlador) y de los requerimientos de procesamiento de control. El diagrama de caso de uso para este agente se muestra la Fig. 5.

Las actividades orientadas a definir las tareas de control se estructuran de acuerdo al diagrama de actividades que se muestra en la Fig. 6. Como se puede observar, se definen dos tareas: *Planificar control* y *Ajustar controlador*. El diagrama de interacción para la actividad *Planificar control* se muestra en la Fig. 7.

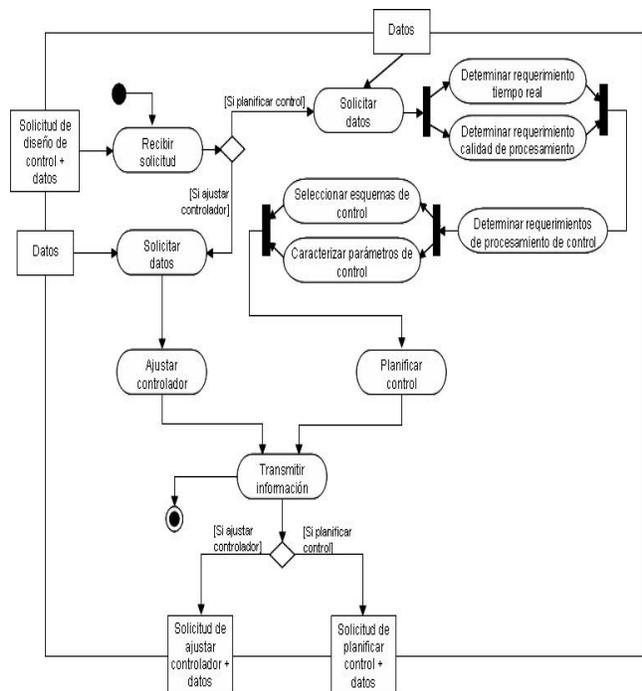


Fig. 6. Diagrama de actividades del Agente Diseñador del control

Otra tarea importante de este agente es ajustar los parámetros del controlador en ejecución sobre un horizonte de tiempo finito, que garantice el buen desempeño del proceso de producción en términos de los requerimientos de control y de procesamiento de control. Para ello se construye un diagrama de interacción, el cual se muestra en la Fig. 8

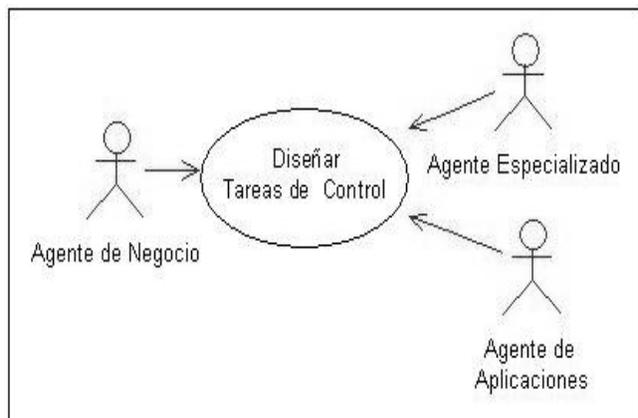


Fig. 5. Diagrama de caso de uso del Agente Diseñador del control

3.2.2 Agente ejecutor del control

Este agente genera las órdenes de control según los lineamientos estipulados en los planes actuales de control y esquemas usados (todo esto es especificado por el agente descrito en la sección 3.2.1). Para esto, el agente recibe un requerimiento de control, y en base a los datos y

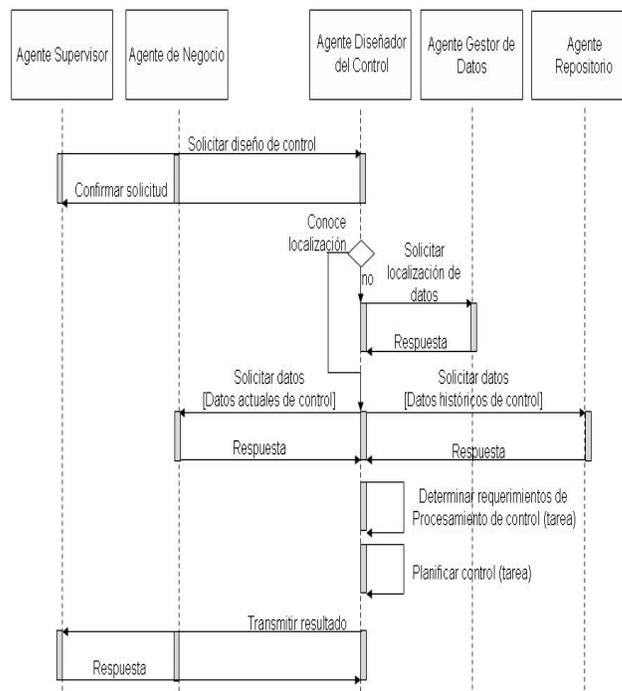


Fig. 7. Diagrama de interacción para diseño del control

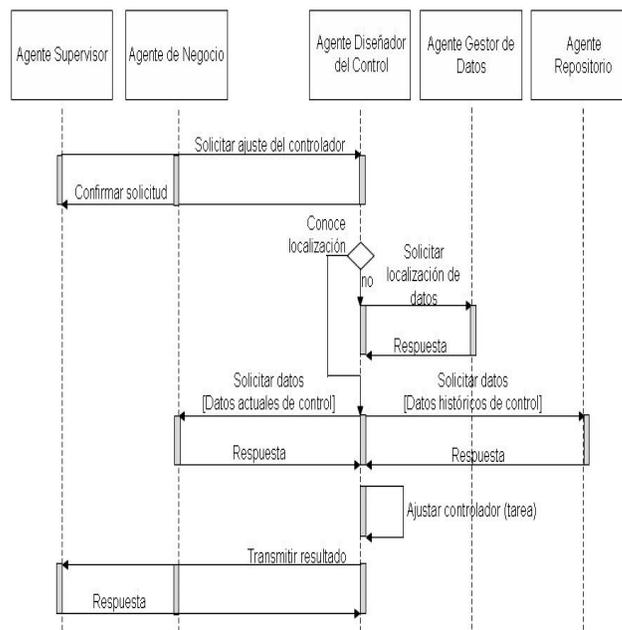


Fig. 8. Diagrama de interacción para el ajuste del control

conocimiento disponibles genera órdenes de control. El caso de uso para este agente se muestra en la Fig. 9.

Las actividades orientadas a definir las tareas de control se estructuran de acuerdo al diagrama de actividades que se muestra en la Fig. 10, donde se observa que el rol fundamental es *Generar acciones de control*. El diagrama de interacción para este agente se muestra en la Fig. 11.

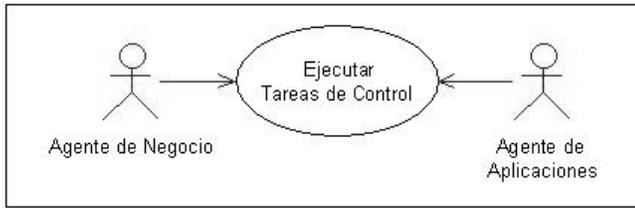


Fig. 9. Diagrama de caso de uso del Agente Ejecutor del control



Fig. 12. Diagrama de caso de uso del Agente Evaluador del control

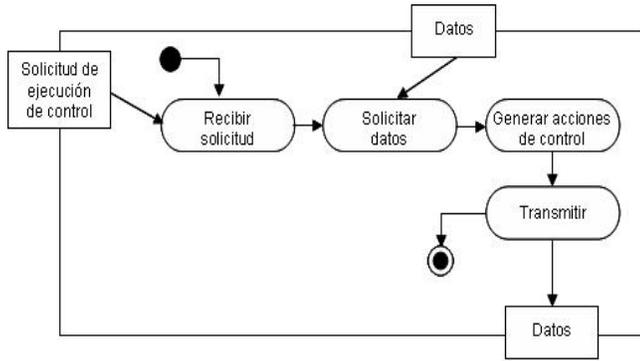


Fig. 10. Diagrama de actividades del Agente Ejecutor del control

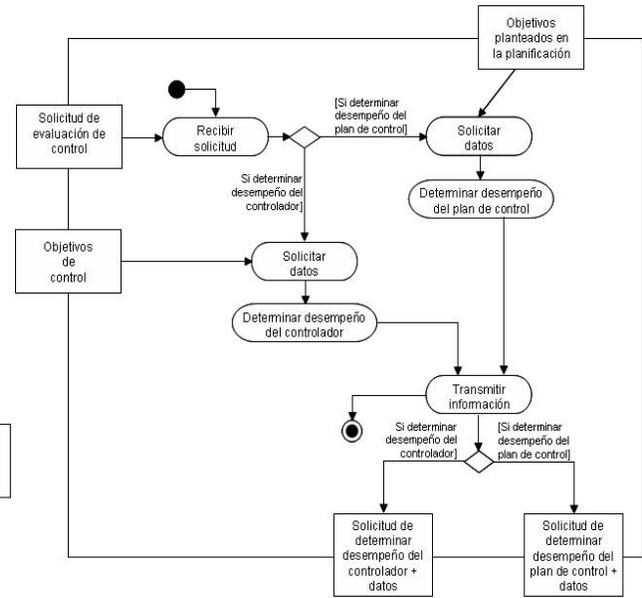


Fig. 13. Diagrama de actividades del Agente Evaluador del control

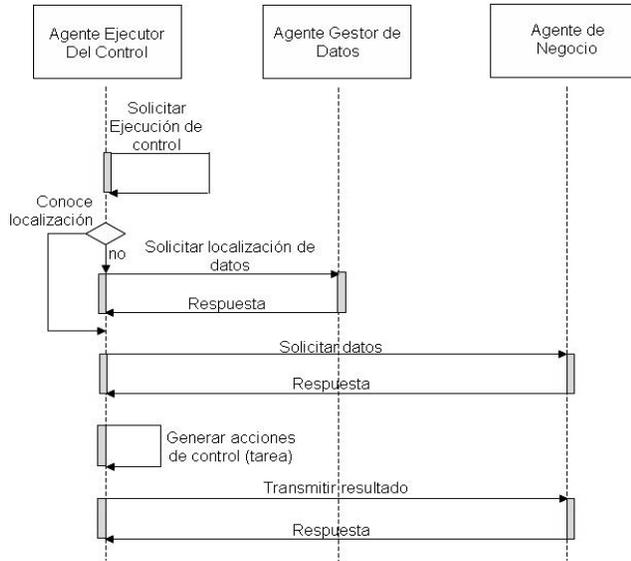


Fig. 11. Diagrama de interacción del Agente Ejecutor del control

3.2.3 Agente evaluador del control

Este agente se encarga de determinar el desempeño de los planes del control y controladores en ejecución, en términos del cumplimiento de los objetivos planteados en el diseño. El caso de uso para este agente se muestra en la Fig. 12.

Las actividades orientadas a definir las tareas de control se estructuran de acuerdo al diagrama de actividades que se muestra en la Fig. 13.

Tal como se puede observar en la Fig. 13, las tareas básicas del agente son: *Evaluar desempeño del plan de con*

trol y Evaluar desempeño del controlador, cuyos diagramas de interacción se presentan en las Figs 14 y 15, respectivamente.

3.3 Agente Supervisor

Las aplicaciones de supervisión y mantenimiento son parte fundamental en los procesos de automatización; su adecuada integración con los sistemas de control permite alcanzar los objetivos con altos desempeños de los procesos de producción. En este sentido, el diseño de arquitecturas que permitan la integración de dichas aplicaciones sobre plataformas distribuidas ha sido un aspecto importante referido por los investigadores (Cerrada et al, 2007; Rao et al, 1998; Legar et al, 1999; Yu et al, 2003; Jung, 2003, Hung et al, 2003). Dichas arquitecturas deben garantizar la integración del conocimiento, información y datos distribuidos con el fin de proveer mecanismos que soporten la toma de decisiones.

En este trabajo, el Agente Supervisor se concibe como un SMA compuesto por tres agentes: Agente Supervisor de Control, Agente Supervisor de Confiabilidad y Agente Supervisor de Tareas.

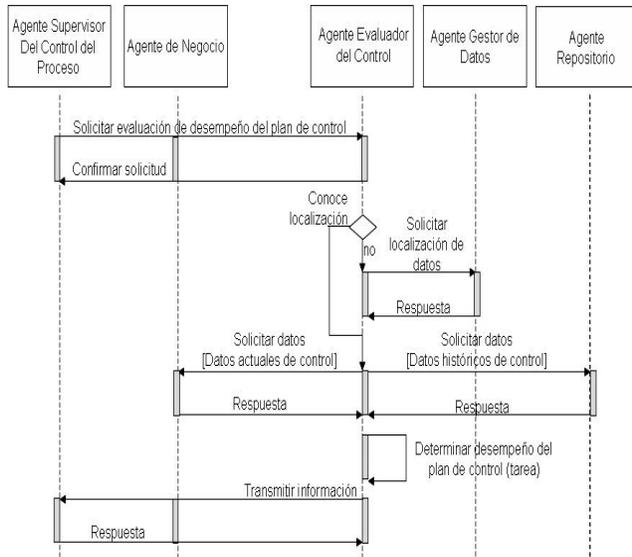


Fig. 14. Diagrama de interacción para evaluar el desempeño del plan de control

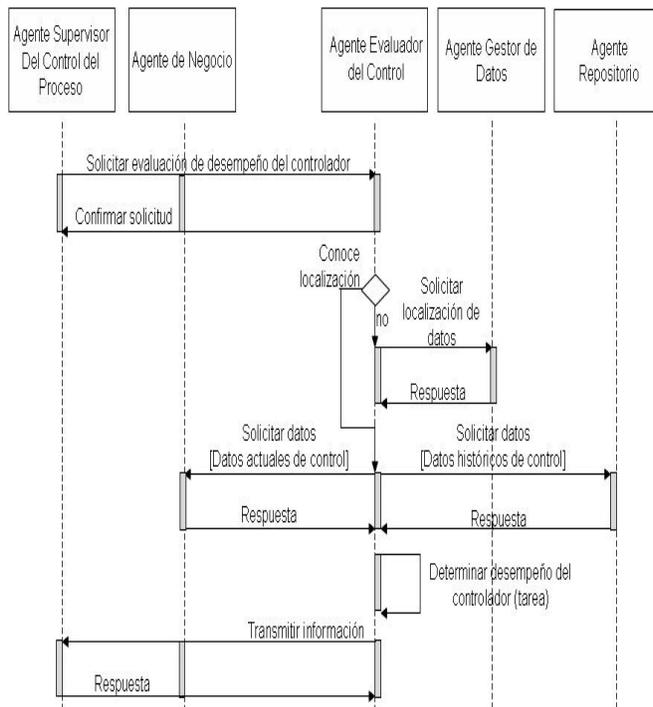


Fig. 15. Diagrama de interacción para evaluar el desempeño del controlador

3.3.1 Agente supervisor de control

Este agente supervisa el desempeño del proceso de producción a partir de los datos y conocimientos relacionados con las tareas de control y de manejo de los factores de producción, generando índices operacionales que permitan medir tal desempeño. Como consecuencia, este agente puede solicitar el ajuste de los planes de control actuales ó de

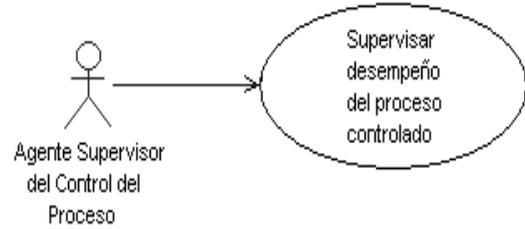


Fig. 16. Diagrama de caso de uso del Agente Supervisor de control

los parámetros del controlador para compensar salidas erróneas del proceso.

El caso de uso de este agente se muestra en la Fig. 16; mientras que la Fig. 17 muestra su diagrama de actividades. Dichas actividades son ofrecidas como servicios a otros agentes. Una de las actividades fundamentales señaladas en dicho diagrama es la actividad *Estimar índices operacionales*.

El diagrama de interacción para la estimación de los índices operacionales se muestra en la Fig. 18, la cual resalta la interacción de este agente con los otros agentes de sistema.

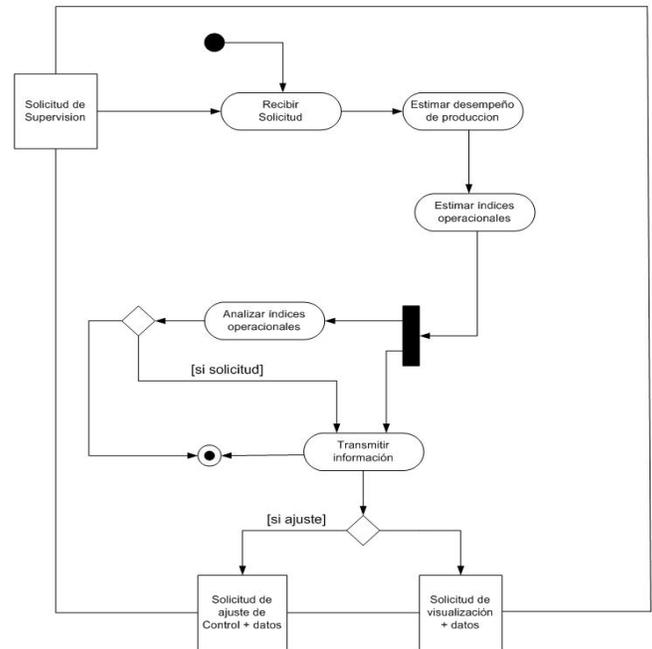


Fig. 17. Diagrama de actividades del Agente Supervisor del control

3.3.2 Agentes supervisor de confiabilidad

Este agente supervisa las actividades relacionadas con la confiabilidad del proceso. Para ello, debe tener acceso a datos históricos y de tiempo real, debe conocer los planes actuales de mantenimiento, así como los esquemas de manejo de fallas que se están usando. Este agente puede solicitar, en consecuencia, la aplicación de tareas específicas

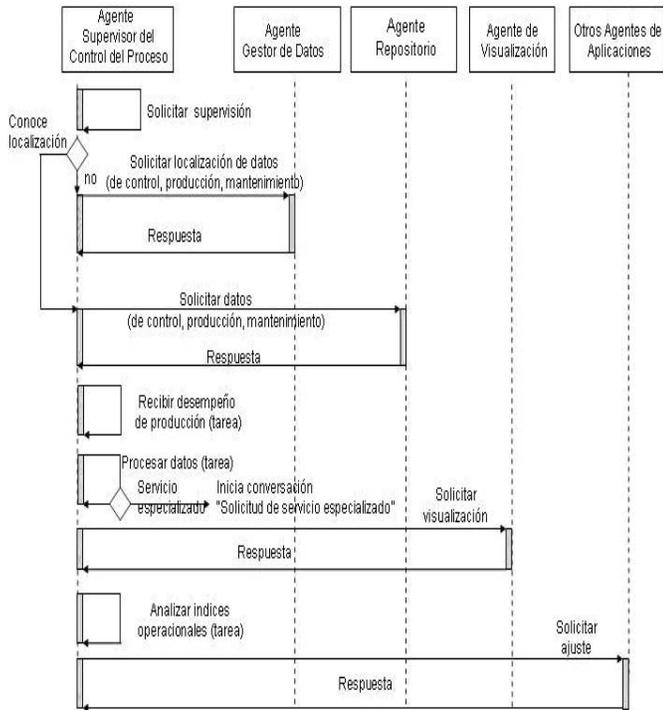


Fig. 18. Diagrama de interacción para estimar índices operacionales

de mantenimiento y/o cambios en los planes actuales de mantenimiento.

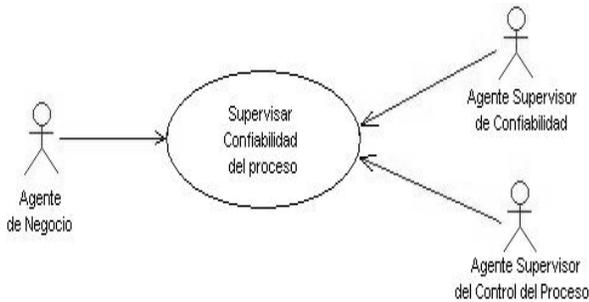


Fig. 19. Diagrama de caso de uso del Agente Supervisor de Confiabilidad

El caso de uso del agente Supervisor de Confiabilidad se muestra en la Fig. 19 y el diagrama de actividades del mismo en la Fig. 20. Estas actividades representan servicios a otros agentes. Una de las actividades fundamentales es la de *Manejar fallas*. El diagrama de interacción de esta actividad se muestra en la Fig. 21, la cual resalta la interacción de este agente con los otros agentes de sistema.

3.3.3 Agente supervisor de tareas

Una de las características fundamentales de los SMA es la posibilidad de desarrollar mecanismos para autoevaluarse y aprender de experiencias. En el contexto de control y supervisión, el Agente Supervisor de Tareas ofrece dos

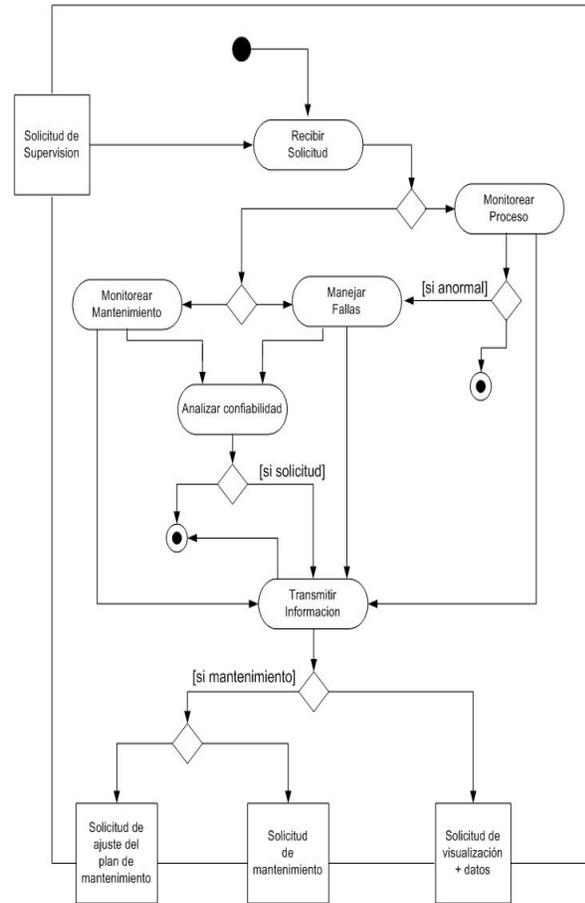


Fig. 20. Diagrama de actividades del Agente Supervisor del Control

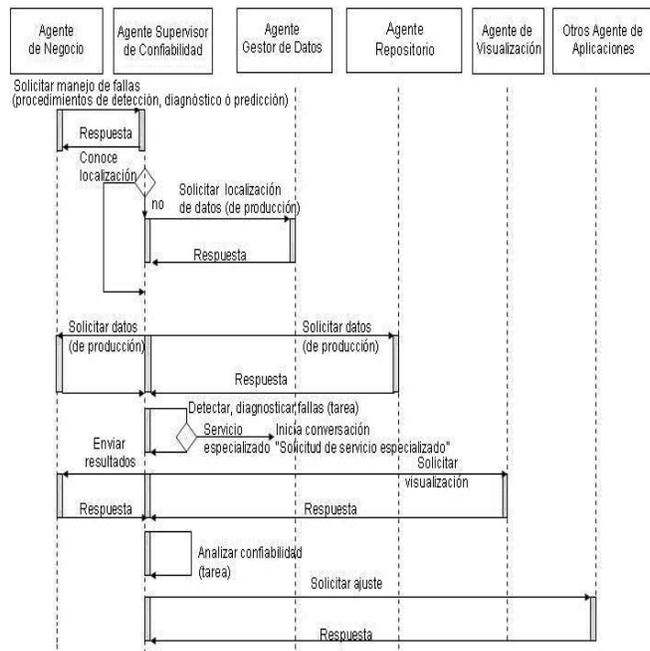


Fig. 21. Diagrama de interacción para manejar fallas

servicios fundamentales orientados a desarrollar esta característica: *Evaluación de la toma de decisiones* y *Evaluación del desempeño de las tareas*. Para el primer servicio, el agente debe revisar los datos históricos relacionados con los índices operacionales y de confiabilidad, y debe aplicar métodos para evaluar como han sido las consecuencias derivadas de la toma de decisiones con respecto a los cambios solicitados por los agentes en los planes de control ó mantenimiento. Para el segundo servicio, el agente evalúa el desempeño de las aplicaciones de supervisión basadas en las propiedades de los servicios solicitados (confiabilidad del servicio, calidad del servicio, etc.).

El caso de uso de este agente y el diagrama de actividades se muestran en las Fig. 22 y 23, respectivamente. El diagrama de interacción de la actividad *Evaluar toma de decisiones* se muestra en la Fig. 24, la cual resalta la interacción de este agente con los otros agentes de sistema para cumplir con el servicio.

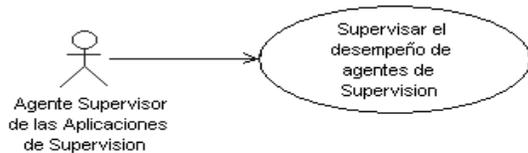


Fig. 22. Diagrama de caso de uso del Agente Supervisor de tareas

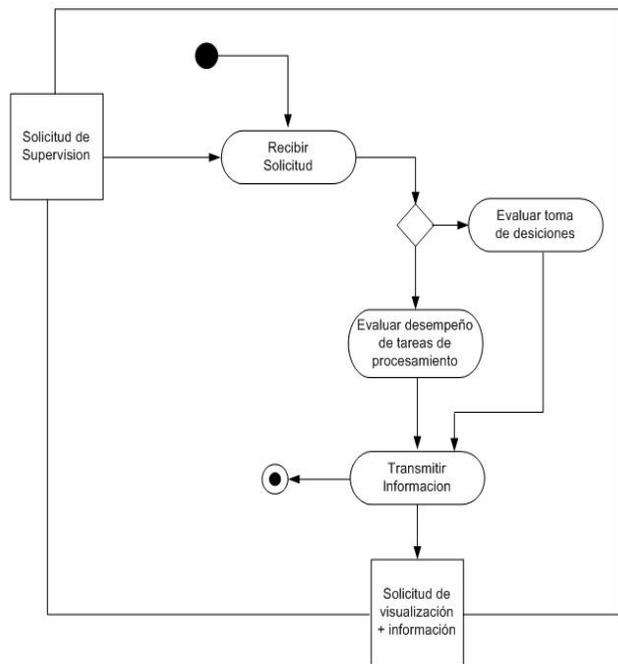


Fig. 23. Diagrama de actividades del Agente Supervisor del Tareas

4 Diseños de los agentes

Para la implantación en las redes de control, estos agentes se conciben como objetos de software cuyo diseño usa las herramientas para el desarrollo de sistema a objetos

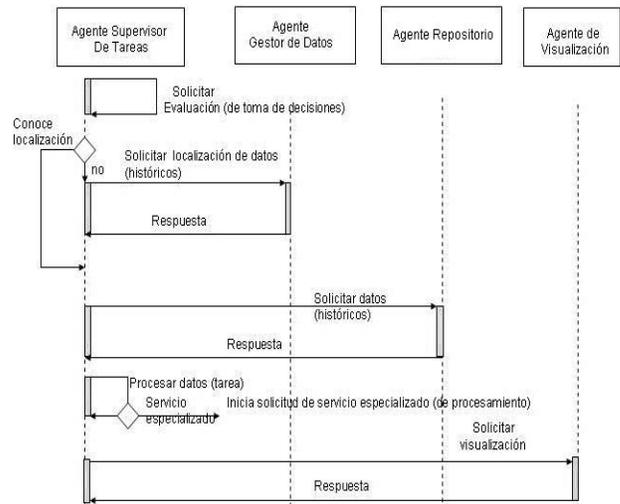


Fig. 24. Diagrama de interacción para evaluar la toma de decisiones

(Besembel, nd), teniendo como punto de partida la definición de los diagramas de clases. Las Figs. 25 y 26 muestran los casos específicos de definición de clases del Agente Proceso y del Agente Supervisor de Confiabilidad, respectivamente.

Una vez definidos los diagramas de clases, se procede con la definición del universo de clases y de los tipos abstractos de datos (TAD), seguido de la especificación formal de la clase, métodos y operaciones de dicha clase.

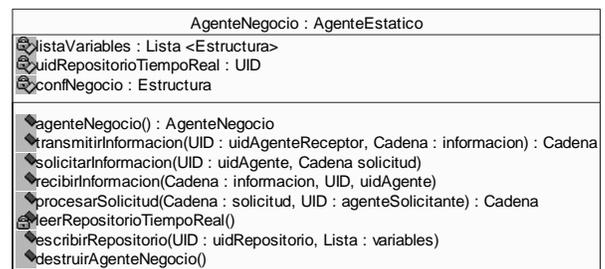


Fig. 25. Diagrama de clases del Agente Proceso



Fig. 26. Diagrama de clases del Agente Supervisor

La Tabla 1 muestra el caso específico de la definición del universo de clases y TDA del Agente de Negocio (Proceso). De esta manera se conforma la plataforma para la

implementación del Agente Proceso, que sirve de estructura base para el resto de los agentes del Nivel Superior.

Tabla 1. Definición del universo de clases y TDA del Agente de Negocio.

dd/mm/aa	Versión 1.0	
Universo de clases y TDAs AgenteNegocio { Colección de clases y TDAs requerida para implantar el Agente de Negocio }		
1	AgenteNegocio()	<i>AgenteNegocio</i> ():
2	Cadena	Clase que permite la creación de un Agente de Negocio.
3	UID	<i>Cadena</i> : TDA cadena de caracteres de longitud variable.
4	Lógico	<i>Entero</i> : valor entero.
5	TablaTiempoReal	<i>UID</i> : tipo entero que representa un identificador único en el sistema multiagente.
6	Estructura	<i>Logico</i> : tipo lógico, conformado por los valores cierto y falso. <i>TablaTiempoReal</i> : TDA que contiene los datos del proceso real. <i>Estructura</i> : tipo de dato que contiene campos asociados a información conFig.da.

5 Conclusiones

Se ha presentado un modelo de agentes de sistemas inteligente de control y supervisión para plataformas de automatización industrial. El modelo se constituye de agentes que permiten coordinar, ejecutar y evaluar tareas de control y supervisión, necesarias para el procesamiento de la información del proceso y para la toma de decisiones.

El modelo considera la captura de la información de los procesos a través de un modelo operacional de los mismos, caracterizado por un Agente Proceso. El procesamiento de la información capturada se ejecuta a través de un SMA denominado Agente Control, el cual está conformado por tres agentes: Diseñador del Control, Ejecutor del Control y Evaluador del Control. Las actividades de supervisión y mantenimiento, como parte fundamental en los procesos de automatización, han sido concebidas en un SMA denominado Agente de Supervisión conformado por tres agentes: Supervisor de Control, Supervisor de Confiabilidad y Supervisor de Tareas. Todos estos agentes se organizan en una arquitectura integrada/distribuida en el contexto de la automatización de procesos, lo que constituye la contribución principal de este trabajo.

Este SMA opera bajo las especificaciones estándares de la FIPA y sus interrelaciones se garantizan a través del *Middleware*.

Para la construcción de este SMA se han utilizado las metodologías de MASINA y UML, a partir de los cuales se derivan toda la información requerida para la implementa-

ción de los agentes como instancias de software, usando para ello las herramientas de desarrollo de objetos.

6 Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el FONACIT, bajo el proyecto No. 2005000170, y el CDCHT de la Universidad de Los Andes, a través del proyecto No. **I-820-05-02-AA**, por lo que gratamente se reconocen estos soportes.

Referencias

- Aguilar J, Cerrada M, Mousalli G. y Rivas F, 2005, A multiagent model for intelligent distributed control systems, lecture notes in artificial intelligence, Springer-Verlag, 3681: 191-197.
- Aguilar J, Cerrada M e Hidrobo, F, 2007, A methodology to specify multiagent systems, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 4496: 92-101.
- Aguilar J, Ríos A, Rivas F, Terán O, León L y Pérez N, 2004, Definición de dominios y paradigmas en una arquitectura de automatización industrial, Technical Report 05-04, Fundacite-Mérida, Mérida.
- Albert M, Längle T, Wörn H, Capobianco M y Brighenti A, 2003, Multi-agent systems for industrial diagnostics, XV IFAC World Congress, Barcelona, Spain.
- Besembel I, n.d., TDSO. Guía Técnica, Publicaciones de la Facultad de Ingeniería edn, Universidad de Los Andes.
- Bratoukhine A, Peña Y y Sauter T, 2002, Intelligent software agents in plant automation, Technical Report, Vienna University of Technology, Wien, Austria.
- Bravo C, Aguilar J, Rivas R y Cerrada M, 2005, Design of an architecture for industrial automation based on multi-agents systems, Proceeding of the 16th IFAC World Congress.
- Cerrada M, Cardillo J, Aguilar J y Faneite R, 2007, Agents-based design for fault management systems in industrial processes, Computers in Industry, 58: 313-328.
- Hidrobo F, Ríos-Bolívar A, Aguilar J y León L, 2005. An architecture for industrial automation based on intelligent agents, WSEAS Transaction on Computers, 4(12): 1808-1815.
- Hung M, Chen K, Ho R y Cheng F, 2003, Development of an e-diagnostics/maintenance framework for semiconductor factories with security consideration, Advanced Engineering Informatics, 17: 165-178.
- Iung B, 2003, From remote maintenance to MAS-based e-maintenance of an industrial process, International Journal of Intelligent Manufacturing 14(1): 59-82.
- Jennings N y Bussmann S, 2003, Agent-based control systems, IEEE Control Systems Magazine, June: 61-73.
- Klostermeyer A, 2003, Revolutionizing plant automation – the PABADIS approach - white paper, TR IST-1999-60016, PABADIS: Information Society Technology, Germany.

- Leger JB, Iung B, Ferro De Beca A y Pinoteau J, 1999, An innovative approach for new distributed maintenance system: Application to hydro power plants of the REMAFEX project, *Computer in Industry*, 38: 131-148.
- Muller P, 1997, *Modelado de objetos en UML*, primera edición edn, Eyrolles-Gestión 2000, Barcelona, España.
- Pinto J, 2000, Instrumentation & control on the frontiers of a new millennium, *Journal Instruments & Control Systems*, 1(2): 78-90.
- Rao M, Yang H, Yang, H., 1998. Integrated distributed intelligent system architecture for incidents monitoring and diagnosis. *Computer in Industry*, 37: 143-151.
- Ríos-Bolívar A, Aguilar J, Hidrobo F y León L, 2005, Industrial automation architecture: An intelligent agent based approach, in WSEAS (ed.), 4th WSEAS Int. CIM, MACS'05, Vol. I, Miami, Florida, USA, p.p. 134-139.
- Seilonen I, Pirttioja T y Appelqvist P, 2003a, Agent technology and process automation, Technical Report, Helsinki University of Technology.
- Seilonen I, Pirttioja T, Appelqvist P, Halme A. y Koskinen, K, 2003b, An approach to process automation based on cooperating subprocess agents, Technical Report, Helsinki University of Technology.
- Wagner T, 2002, An agent-oriented approach to industrial automation systems, TR, Institute of Industrial Automation and Software Engineering, University of Stuttgart.
- Wagner T, 2003 Applying agents for engineering of industrial automation systems, in M. S. et al. (ed.), *MATES 2003*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.p. 62-73.
- Yu R, Iung B, Panetto H, 2003, A multi-agents based e-maintenance system with case-based reasoning decision support, *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 16: 321-333.

