

Diseño de una arquitectura de automatización industrial basada en sistemas multi-agentes

Industrial automation architecture based on multi-agents systems

C. Bravo
PDVSA División Occidente
bravocn@pdvsa.com

J. Aguilar
CEMISID
Universidad de los Andes

F. Rivas
Postgrado en Ingeniería de Control y Automatización
Universidad de los Andes

Resumen

Los nuevos paradigmas de la automatización industrial tienden a la distribución de la inteligencia entre los componentes de la cadena productiva y hacia la integración de los diversos sistemas y aplicaciones existentes en las empresas, en la búsqueda de mejorar los procesos y de disponer de información de tiempo real que permita tomar decisiones acertadas y bien informadas. Este trabajo propone una arquitectura de automatización industrial basada en sistemas multiagentes, y hace uso del marco de referencia SCDA como base para dicha arquitectura.

Palabras Claves: Automatización industrial, sistemas multiagentes, procesos de negocio, explotación petrolera, inteligencia artificial.

Abstract

The new paradigms on industrial automation tend to the intelligence distribution between the components of the production chain, and the integration between different systems and applications existing in the companies, with the purpose of improve the processes, and have real time information that allow to make right and well informed decisions. This work propose an industrial automation architecture, based on multi-agents systems, which makes use of the framework SCDA as its bases for this architecture.

Key words: Industrial automation, multi-agents systems, business processes, oil production, artificial intelligence.

1 Introducción

La teoría multiagente parece coincidir con la tendencia del mundo industrial, y especialmente de la industria petrolera, de distribuir la inteligencia entre los componentes de los procesos productivos, de forma de proveerlos de mecanismos que les permitan tener “conciencia” de sus estados, metas y acciones, de tal manera que puedan autorregularse. Los sis-

temas multi-agentes consisten en una colección de agentes (algunos con capacidad de razonamiento, lo que les proporciona autonomía), en general con características sociales, que les permiten cooperar para lograr una misión.

Este trabajo propone un sistema multi-agentes, que representa genéricamente las operaciones llevadas a cabo en una industria, desde el punto de vista de control de procesos distribuido. Este sistema multi-agentes se modela en el marco

de trabajo establecido en el Sistema de Control Distribuido Inteligente basado en Agentes (SCDIA), el cual es una propuesta de arquitectura de sistema multi-agentes, construido específicamente para el área de automatización y control de procesos (Aguilar J et al, 2001a; Aguilar J et al, 2001b, Aguilar J et al, 2001c; Aguilar J et al, 2002; Mousalli G., 2002).

El SCDIA hace uso de los principios del paradigma de los SMA para modelar sistemas de automatización industrial bajo un esquema genérico y reusable, que es útil tanto para operaciones de control de procesos como para actividades de gestión y toma de decisiones.

Este trabajo consta de cinco partes. En la primera parte se abordarán los conceptos fundamentales para la comprensión de la teoría multi-agentes; en la segunda parte se propone un modelo multi-agentes para el diseño de una plataforma de automatización industrial, y en la tercera parte se presenta un caso de estudio de la aplicación de esta plataforma a la industria de explotación de petróleo. En la cuarta sección se presenta el diseño de los agentes para el caso de estudio escogido. Finalmente, en la quinta parte se presentan las conclusiones del trabajo.

2 Conceptos fundamentales

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. De hecho, aun cuando la definición de agente ha sido motivo de un amplio debate entre la comunidad de investigación de la Inteligencia Artificial Distribuida (DAI: Distributed Artificial Intelligence), existe el acuerdo de que la autonomía es la característica principal que describe un agente, entendiendo como autonomía la capacidad del agente de actuar sin la intervención de un usuario o de otro sistema. Una definición de agente ampliamente aceptada es citada por Weiss (1999): "Un agente es un sistema computacional que está situado en un ambiente, y que es capaz de tomar acciones autónomas en ese ambiente con el fin de cumplir sus objetivos de diseño". Por otro lado, Shoham define a un agente como "un objeto activo, un objeto con un estado mental", que posee capacidades cognitivas y un comportamiento social (Shoham y Moshe T, 1999). Así, los agentes inteligentes, además de atributos y métodos (propiedades del paradigma de orientación por objetos), poseen creencias, deseos e intenciones que los vinculan con su entorno y les proveen estados mentales de los cuales depende su comportamiento. Cada agente posee una serie de propiedades, entre las que se cuentan autonomía, movilidad, racionalidad, reactividad, sociabilidad y proactividad. Además, pueden estar dotados de mecanismos de razonamiento que les permiten abordar situaciones de manera inteligente y evolucionar por medio de la experiencia. En ese caso los agentes se denominan "agentes inteligentes".

Los sistemas multi-agentes (SMA) son sistemas que describen a los agentes en un entorno social, en el cual dichos

agentes cooperan para lograr tanto sus metas individuales como las metas colectivas de la comunidad multiagente. En los SMA existe una variedad de agentes, cada uno con una visión parcial del ambiente y con la capacidad de comunicarse con los demás agentes para intercambiar información y/o conocimiento. El buen funcionamiento de un SMA se basa en el establecimiento de protocolos eficientes de comunicación y coordinación que garanticen la distribución de las tareas, del conocimiento y de las responsabilidades de cada uno de los componentes del sistema.

2.2 SCDIA

El SCDIA es una plataforma multiagentes diseñada específicamente para sistemas de automatización industrial (Aguilar J et al, 2001a; Aguilar J et al, 2001b, Aguilar J et al, 2001c; Aguilar J et al, 2002). Propone una colección de agentes que representan los elementos presentes en un lazo de control de procesos, con la intención de establecer un mecanismo genérico para el manejo las actividades de organizaciones relacionadas con automatización industrial.

Así, se encuentran los siguientes agentes:

- Agente de medición: recolecta la información necesaria para conocer el estado del proceso.
- Agente controlador: toma acciones basado en la observación del estado del sistema
- Agente coordinador: flexibiliza y/o modifica las decisiones del agente controlador y establece nuevos objetivos y servicios. Dirige a los agentes presentes en su comunidad.
- Agente de actuación: ejecuta las decisiones tomadas por los agentes controladores, coordinadores y/o especializados.
- Agente especializado: ejecutan tareas especiales necesarias en la comunidad de control.

Como se puede observar en la Fig. 2, El SCDIA se puede dividir en dos niveles: un nivel de interacción con el ambiente, en donde se encuentran el agente de medición y de actuación; y por otro lado un nivel de decisión en donde se encuentran los demás agentes de la comunidad.



Fig.1. Modelo SCDIA.

El SCDIA propone además una comunidad de agentes que se encarga de las labores de gestión dentro del SCDIA. A esta comunidad se le denomina Sistema de Gestión de Servicios (SGS) (Bravo V, 2003).

Dentro de estas labores de gestión se encuentran la administración del sistema multiagentes, en donde se cuenta la migración, el nombramiento, la activación/desactivación de agentes y el conocimiento del estado del SMA; todas estas labores son llevadas a cabo por el Agente Administrador de Agentes (AAA). Otra labor que desempeña el SGS es llevar el inventario de todas las aplicaciones y recursos que manejan y/o proveen los agentes, labor de la que se ocupan los Agentes de Gestión de Aplicaciones (AGA) y de Gestión de Recursos (AGR), respectivamente. Por otro lado, también es necesaria la administración de los datos almacenados dentro del sistema; esto se lleva a cabo por medio del agente de base de datos (ABD). Por último, el SCDIA tiene la capacidad de comunicarse con otros SMA por medio del SGS, y específicamente a través del agente de control de comunicaciones (ACC).

3 Arquitectura de automatización industrial basada en SMA

3.1 Generalidades

La arquitectura de automatización que se propone en este trabajo está compuesta por diferentes niveles de abstracción, cada uno representado por SMA's que, en el nivel más alto, modelan los elementos componentes del proceso productivo, y en los niveles inferiores modelan la arquitectura de las aplicaciones que dan apoyo a dicho proceso, tales como control de procesos, supervisión o manejo de fallas.

En un primer nivel se modelan los objetos del negocio como agentes, esto es, el proceso productivo es visto como un SMA, donde las diversas unidades de producción son modeladas como agentes. Los agentes de este nivel negocian entre si para llegar a acuerdos que permitan cumplir con las metas de producción establecidas; dichos acuerdos representan la lógica del negocio que rige el proceso productivo.

En un segundo nivel, cada agente del primer nivel es visto como un SMA compuesto por agentes que se ocupan de las actividades necesarias para cumplir con las metas de los objetos del negocio: control de procesos, ingeniería de mantenimiento, manejo de situaciones anormales, manejo de los factores de producción y planificación de la producción. Las actividades antes listadas son comunes para cada agente del primer nivel, y en consecuencia, todos los agentes de dicho nivel tendrán una arquitectura base constituida por agentes que desempeñan cada una de dichas actividades. Sin embargo, existen actividades que son exclusivas de un objeto de negocio en particular, las cuales son modeladas por medio de agentes especializados, que complementan la arquitectura base de cada agente del primer nivel.

Finalmente, ya que las actividades que desempeñan los agentes del segundo nivel son complejas, se propone un tercer nivel de abstracción en donde los agentes del segundo nivel son vistos como SMA's, distribuyendo las tareas in-

volucradas en el desarrollo de cada actividad entre diversos agentes. Como se verá más adelante, se hace uso del marco de referencia SCDIA como modelo de los agentes del tercer nivel de abstracción.

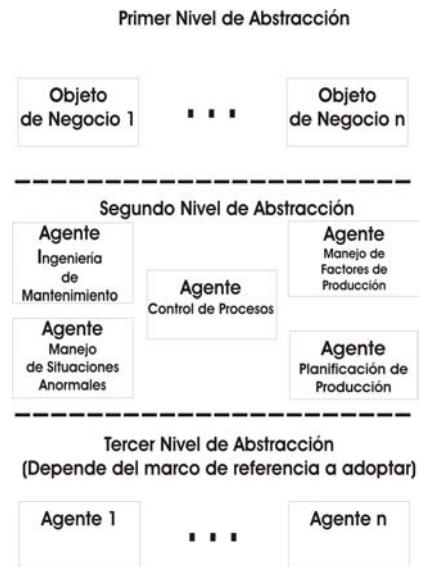


Fig. 2. Niveles de abstracción.

3.2 Primer nivel: representación de los objetos del negocio

El hecho de representar los objetos del negocio como agentes está fundamentado en la idea de otorgar inteligencia y autonomía a cada elemento del proceso productivo.

La arquitectura de este nivel es metamórfica, esto es, la cantidad y naturaleza de los agentes que componen este nivel dependerán del proceso que se está modelando, haciendo posible que la arquitectura aquí propuesta pueda ser adaptada a cualquier organización orientada a la producción. La naturaleza metamórfica de la arquitectura del primer nivel de abstracción tiene que ver con cuales son los objetos de negocio a ser representados como agentes y no con la estructura interna de los mismos.

3.3 Segundo nivel: representación de las actividades de automatización

En este nivel se propone distribuir en una colección de agentes las actividades que se deben desarrollar para cumplir con los objetivos de cada objeto de negocio. En vista de que existen actividades comunes que deben ser realizadas por los diferentes objetos de negocio, se propone establecer que cada agente del primer nivel cuente con un SMA compuesto por agentes que realicen estas actividades, complementados con agentes especializados que realicen aquellas actividades que son específicas para un determinado objeto de negocio. Esto permitirá distribuir las actividades de apoyo a la producción entre los agentes del primer nivel. Así, se propone como arquitectura co-

mún para todos los agentes del primer nivel la siguiente colección de agentes:

- Agente de control de procesos: este agente representa las aplicaciones de control de procesos, tanto a nivel de campo, modelando las aplicaciones de control local que se ejecutan en dispositivos tales como Controladores Lógicos Programables (PLC's) o Unidades Terminales Remotas (RTU's), como a nivel de los centros de control, modelando las aplicaciones SCADA. Este agente también modela las aplicaciones de optimización de los sistemas de control de procesos. La arquitectura de este agente se ciñe al marco de referencia SCIDIA, ya que dicho marco está diseñado justamente para las actividades que realiza el agente de control de procesos.
- Agente de planificación de producción: este agente se encarga de las decisiones sobre las cuotas de producción asignadas a cada objeto de negocio, en función de la condición y capacidad del mismo y de su interrelación con los demás objetos de negocio. Además, es el encargado de emitir órdenes de producción, pedidos y de establecer la secuenciación de la producción. Por otro lado, en este agente se definen los métodos de optimización de la producción.
- Agente de manejo de factores de producción: este agente se encarga del manejo de los recursos (infraestructura, insumos, recursos humanos., energía, etc.) necesarios para el desempeño de los objetos de negocio en el proceso productivo. Además, se encarga del manejo de los productos finales, su almacenamiento, manejo y despacho.
- Agente de ingeniería de mantenimiento: este agente se encarga de las labores de detección, diagnóstico, predicción y aislamiento de fallas, y de la elaboración de planes de mantenimiento preventivo y correctivo. El agente se encarga de identificar todos los modos de falla que se pueden presentar en el proceso monitoreado, a partir del análisis de información de estado y de información histórica. El resultado de la actuación de este agente es un modelo de datos que contiene toda la información acerca de las fallas que se pueden presentar en el proceso, sus características y los planes de mantenimiento que se deben ejecutar para prevenir dichas fallas, o para solventarlas, en caso de que ocurran de manera abrupta
- Agente de manejo de situaciones anormales: este agente se encarga del manejo de las situaciones anormales que se presentan en las instalaciones monitoreadas. Este agente hace uso de un modelo de datos alimentado por el agente de ingeniería de mantenimiento, y por una base de conocimiento que recoge la experiencia de operadores, ingenieros y expertos en manejo de situaciones anormales, que han interactuado con el proceso. Es responsable de detectar situaciones anormales, emitir alarmas y ejecutar acciones correctivas para solventar dichas situaciones. Este agente, a su vez, es un SMA que tiene una arquitectura basada en el SCIDIA. Así, este SMA estará compuesto por los cinco agentes del

SCIDIA, cada uno con labores específicas para el manejo de situaciones anormales.

3.4 Tercer nivel: representación de las funciones

En este nivel se propone modelar como SMA's cada uno de los agentes que desempeñan las actividades de los objetos de negocio. Cada agente del segundo nivel se puede modelar bajo un marco de referencia diferente, con arquitecturas que van a depender de los objetivos de cada uno de ellos. No obstante, en este trabajo se propone usar el marco de referencia SCIDIA para modelar los agentes del segundo nivel, ya que el mismo ofrece un mecanismo de diseño que permite abordar cada una de las actividades involucradas en la automatización de procesos industriales.

Ya que el SCIDIA está inspirado en los componentes de un sistema de control de procesos, cada una de las actividades desempeñadas por los agentes del segundo nivel se modelará como un lazo de control. En este sentido, se considera como proceso, no sólo lo relacionado con las variables del proceso físico monitoreado, sino que también se involucra la relación con el personal involucrado con el proceso productivo, y a los diversos sistemas (software) asociados directa y/o indirectamente con dicho proceso, y cualquier otro elemento que pueda afectar el desempeño de la organización a modelar. Para ejemplificar el modelado de los agentes del tercer nivel de abstracción, se modela el Agente de Manejo de Situaciones Anormales. Para eso, se propone cada uno de los agentes del SCIDIA, cuyas actividades se describen a continuación:

- Agente de observación: este agente tendrá la misión de recolectar los datos provenientes de los sistemas de control local, control supervisorio, bases de datos históricas y corporativas, y los demás repositorios de datos que puedan aportar información acerca del estado de los procesos que se desarrollan en las diferentes instalaciones monitoreadas. Además, de ser necesario, podrá preprocesar y/o validar los datos, calcular promedios y estimadores, hacer observación de estados y cualquier otra operación para obtener la información requerida por los demás agentes para realizar el diagnóstico, aislamiento y tratamiento de situaciones anormales. El agente se encarga de transmitir la información de estado a los demás agentes del SMA.
- Agente controlador: este agente recibe la información de estado emitida por el agente de observación y compara las condiciones actuales del proceso con las condiciones deseadas para el mismo (modelo del proceso que posee el agente), y en caso de que se alejen de una cierta banda de tolerancia, ejecuta estructuras de control almacenadas dentro de un motor de inferencia, lo que puede resultar en órdenes de activación de alarmas, emisión de órdenes para ejecución de aplicaciones de diagnóstico, caracterización de condiciones de operación y/o toma de acciones correctivas, dependiendo de la situación pre-

sentada. Ejecuta modelos de detección y diagnóstico de situaciones anormales, determina las causas de las mismas y evalúa sus consecuencias, a partir del modelo de datos alimentado por el agente de ingeniería de mantenimiento.

- Agente de actuación: dependiendo de las decisiones tomadas por el agente controlador, activa alarmas y las hace visibles para cada actor involucrado con la resolución del problema (operadores SCADA, ingenieros de optimización, ingenieros de mantenimiento, etc.), produce cambios en el SCADA (como por ejemplo el cambio de consignas para controladores o la activación de una alarma para la parada de planta), crea y/o modifica agendas para medidas de pozos y ejecuta flujos de trabajo vinculados con planes de mantenimiento correctivo (elaborados, como se verá más adelante, por el agente coordinador), que conlleven a la resolución de las situaciones anormales que se presenten, incluyendo medidas de mantenimiento correctivo.
- Agente coordinador: supervisa el funcionamiento del motor de inferencia del sistema y lo modifica en caso de ser necesario, crea y/o modifica flujos de trabajo (workflows), cambia valores establecidos para condiciones de operación normal (como por ejemplo, valores nominales para variables de proceso) y modifica las estructuras de los motores de inferencia de los agentes del SMA, por medio de mecanismos de aprendizaje basados en técnicas de inteligencia artificial. Ejecuta pruebas que permiten identificar y localizar modos de falla. Establece, en conjunto con el agente de ingeniería mantenimiento, agendas de mantenimiento correctivo. Emite las solicitudes de servicios a los agentes especializados. Coordina las actividades de los agentes del SMA de manejo de fallas.
- Agentes especializados: dentro del proceso de detección y diagnóstico de fallas, puede hacer falta llevar a cabo actividades de minería de datos, cálculos matemáticos, cálculos estadísticos, predicción, etc. Estas actividades son llevadas a cabo por agentes especializados, cada uno de ellos con una tarea específica a realizar.

Todos los agentes de cada uno de los niveles de abstracción hacen uso de los servicios provistos por el SGS, garantizándose así la comunicación entre todos los agentes y la gestión eficiente de los recursos y servicios requeridos por los mismos.

La arquitectura aquí propuesta permite modelar de manera distribuida las aplicaciones que apoyan al proceso productivo (aplicaciones de control de procesos, ERP's (Enterprise Resource Planning), aplicaciones de optimización, etc.), ya que estas aplicaciones desempeñan labores vinculadas con las actividades de automatización modeladas por los agentes del segundo nivel de abstracción.

Además, el hecho de modelar las aplicaciones por medio de un SMA permite que la comunicación entre dichas aplicaciones (requisito fundamental desde el punto de vista de integración de sistemas) se dé de forma natural por medio de los mecanismos de coordinación del SMA. Así mis-

mo, las funciones llevadas a cabo por cada aplicación se distribuyen entre los agentes que conforman el tercer nivel de abstracción, potenciando la característica distribuida de la arquitectura.

Finalmente, el diseño de diversos niveles de abstracción permite abordar el modelado de sistemas complejos, por medio de la descomposición de los mismos en SMA's, lo que permite diseñar agentes autónomos y flexibles que desempeñan tareas específicas y que pueden evolucionar de acuerdo a sus objetivos y los del SMA en el cual están inmersos.

4 Caso de estudio: proceso de explotación petrolera

En este trabajo se toma como caso de estudio el proceso de producción petrolera, y en específico, se modelará la Unidad de Explotación de Yacimiento (UEY) como un SMA. Se propone el diseño de cinco agentes que representan las instalaciones más importantes en una UEY. Estos cinco agentes representan las instalaciones típicas de un lazo de explotación por levantamiento artificial por gas, caso que se ha tomado como base para ejemplificar la aplicación del modelo. Estos agentes son:

- Agente pozo: este agente es responsable de todas las actividades necesarias para el funcionamiento de un pozo petrolero. Así, este agente tendrá capacidad de desarrollar tareas de control, supervisión, programación de actividades de mantenimiento y/o reparación en pozos petroleros, análisis económico, y las demás actividades relacionadas con este objeto de negocio. Por otro lado, tendrá la capacidad de autoevaluarse y emprender acciones para la optimización de los métodos de producción.
- Agente estación de flujo: este agente modela el funcionamiento de las estaciones de flujo. Mediante él se podrán controlar y monitorear separadores, bombas y los demás dispositivos con los que cuenta una estación de flujo. Además, mediante este agente se podrá realizar la planificación de la producción basada en el funcionamiento de la estación de flujo y de los pozos asociados a ella. Por otro lado, este agente contendrá métodos de optimización para la separación de gas/crudo y de análisis de productividad de la UEY.
- Agente planta compresora: este agente monitorea y controla las actividades relacionadas con las instalaciones destinadas a la compresión de gas en el lazo de explotación y, mediante coordinación con otros agentes, podrá planificar el consumo de gas por parte de las múltiples LAG (múltiples de levantamiento artificial por gas) y las demás instalaciones de la UEY, e incluso, por parte de instalaciones externas (en algunos casos las plantas compresoras de gas surten a refinerías, e incluso, a redes de distribución de gas doméstico).
- Agente MLAG: este agente maneja las actividades relacionadas con la distribución del gas de inyección, llevadas a cabo en las múltiples LAG. Mediante este

agente se puede hacer la planificación de la distribución de gas en la UEY, y aplicar métodos de optimización de producción para los pozos que funcionan basados en inyección de gas.

- Agente patio de tanques: este agente monitorea y controla las actividades de los patios de tanques de una UEY. Este agente permite establecer métodos de optimización para el movimiento y suministro del crudo, así como para su pre-tratamiento.

La interrelación entre los objetos de negocio puede ser representada por medio de un diagrama funcional. En el mismo, se presentan las funciones llevadas a cabo en el proceso de explotación de petróleo. La notación utilizada sigue la metodología de Yourdon-Demarco, referenciada en [6].

El diagrama que se ilustra en la Fig. 3 representa un esquema general de cómo sería la interrelación entre los agentes del primer nivel; un modelo más detallado requiere un estudio más profundo de las funciones que se desarrollan en una UEY. Se utilizaron varios colores dentro del diagrama, para especificar cual agente desempeña cual función, por ejemplo las funciones identificadas por el color amarillo son desempeñadas por el agente pozo, las identificadas con color naranja son desempeñadas por el agente estación de flujo, etc.; en el diagrama se coloca la leyenda que identifica a cada uno de los agentes.

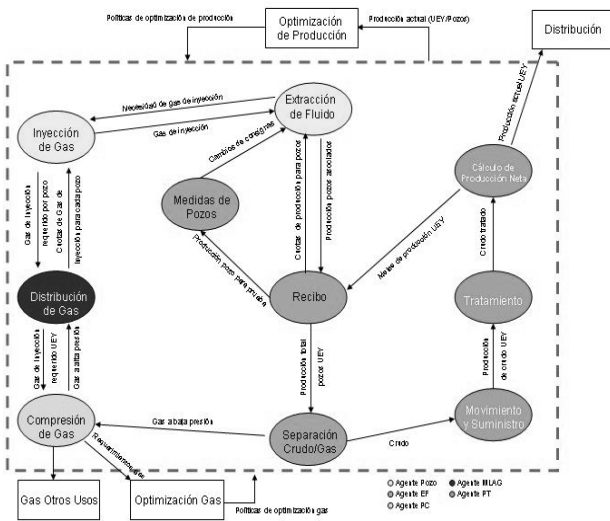


Fig. 3. Diagrama funcional primer nivel de abstracción.

Las funciones identificadas en el diagrama son:

- Extracción de fluido: levantamiento de los hidrocarburos desde el yacimiento hasta la superficie. Desempeñada por el agente pozo.
- Recibo: recolección de crudo de los pozos asociados a las estaciones de crudo. Desempeñada por el agente estación de flujo.
- Medida de pozos: pruebas ejecutadas a la producción de

cada pozo para determinar corte de agua, corte de gas y otros indicadores sobre la productividad del pozo. Desempeñada por el agente estación de flujo.

- Separación crudo/gas: separación, por medio de procesos mecánicos, de la porción de gas que viene mezclada con el crudo. Llevada a cabo por el agente estación de flujo.
- Compresión de gas: proceso de elevar la presión del gas proveniente de las estaciones de flujo para su posterior uso. Llevado a cabo por el agente planta compresora.
- Distribución de gas: asignación de cuotas de gas de inyección a cada pozo LAG. Llevada a cabo por el agente MLAG.
- Inyección de gas: inyección de gas a los pozos para aumentar la presión en el fondo del hoyo y elevar el fluido hasta la superficie. Llevada a cabo por el agente pozo.
- Movimiento y suministro: almacenamiento de crudo en los patios de tanques y suministro hacia refinerías y puertos. Desempeñada por el agente patio de tanques.
- Tratamiento: tratamiento físico-químico para separación de agua y eliminación de sustancias indeseables del crudo. Desempeñada por el agente patio de tanques.
- Cálculo de producción neta: cálculo de la producción neta de crudo de la UEY. Llevada a cabo por el agente patio de tanques.

Las entidades externas (las cuales no son modeladas en este nivel) son:

- Gas otros usos: distribución de gas para consumo doméstico u otros usos no vinculados con la inyección de gas en los pozos.
- Optimización de gas: optimización de la compresión y distribución de gas en la UEY.
- Optimización de producción: optimización de los métodos de extracción, separación y tratamiento del crudo.
- Distribución: distribución del crudo hacia refinerías y puertos.

Estas entidades externas, aún cuando son actividades que deben distribuirse entre los agentes del primer nivel, son modeladas en los niveles subsiguientes, exceptuando la distribución, que no forma parte de las actividades de la UEY.

El segundo nivel de abstracción pretende representar, por medio de un SMA, las actividades que se llevan a cabo dentro del área de la automatización industrial. Por esta razón, para modelar el comportamiento del SMA del segundo nivel de abstracción, se hace uso del modelo funcional de control de la empresa, propuesto por la ISA en el estándar ANSI/ISA 95.00.01, el cual describe las funciones y el flujo de información entre los diversos componentes de una empresa orientada a la producción.

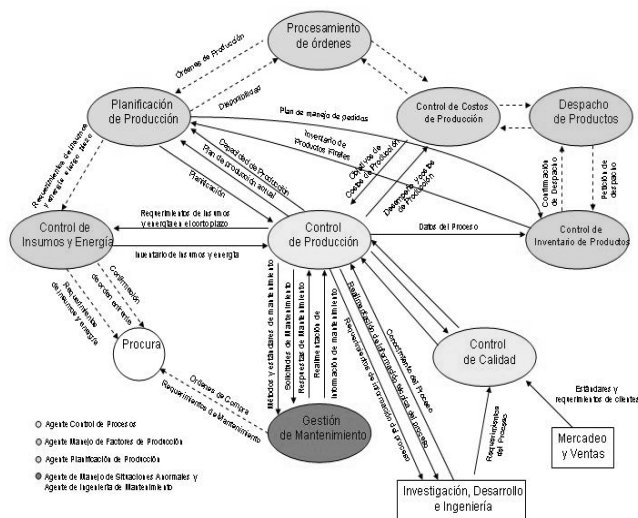


Fig. 4. Diagrama funcional segundo nivel de abstracción

Como puede verse en la Fig. 4, cada función está identificada con un color que representa al agente que predomina en la realización de dicha función, sin embargo, eso no quiere decir que los demás agentes del nivel no participen en el desempeño de la función.

El estándar ANSI/ISA 95.00.01 describe en detalle cada una de las funciones especificadas en la Fig. 7, sin embargo se hará una breve descripción de cada función:

- **Procesamiento de orden:** manejo de las órdenes de los clientes. Desarrollada por el agente de planificación de producción.
- **Planificación de producción:** elaboración y ejecución de planes de producción, determinación de los requerimientos de materia prima y estimación de la disponibilidad de productos finales. Llevada a cabo por el agente de planificación de producción.
- **Control de la producción:** control de la transformación de la materia prima en productos finales, de acuerdo al plan de producción. Llevada a cabo por el agente de control de procesos.
- **Control de insumos y energía:** gestión del inventario, transferencia y calidad de los insumos y de la energía disponible. Desarrollada por el agente de manejo de los factores de producción.
- **Procura:** ejecución de las órdenes de requerimientos de materiales, partes, insumos y demás elementos necesarios para la producción. Llevado a cabo por el agente de manejo de factores de producción.
- **Control de calidad:** aseguramiento de la calidad de los productos finales, siguiendo estándares y normas. Llevado a cabo por el agente control de procesos.
- **Control de inventario de productos:** manejo del inventario y la disponibilidad de los productos finales. Llevado a cabo por el agente de manejo de factores de producción.
- **Control de costos de producción:** cálculo y ejecución de

reportes de los costos de la producción. Llevado a cabo por el agente de planificación de producción.

- **Despacho de productos:** organización del despacho, transporte y entrega de los productos finales a los clientes. Llevado a cabo por el agente de manejo de los factores de producción.
- **Gestión de mantenimiento:** mantenimiento de las instalaciones, ejecución de planes preventivos de mantenimiento, monitoreo de fallas y situaciones anormales, cálculo de confiabilidad operacional. Llevada a cabo por los agentes de manejo de situaciones anormales y de ingeniería de mantenimiento.

Tal y como se hizo en las secciones anteriores, se hará uso del Agente de Manejo de Situaciones Anormales para explicar la estructura del tercer nivel de abstracción para este caso de estudio. Para describir el comportamiento del SMA que desempeña la actividad de manejo de situaciones anormales, se utilizará en primer lugar el diagrama funcional propuesto por la ISA para la gestión de mantenimiento, y posteriormente se hará uso de una Red de Petri para representar los estados y transiciones del agente ante la ocurrencia de una situación anormal.

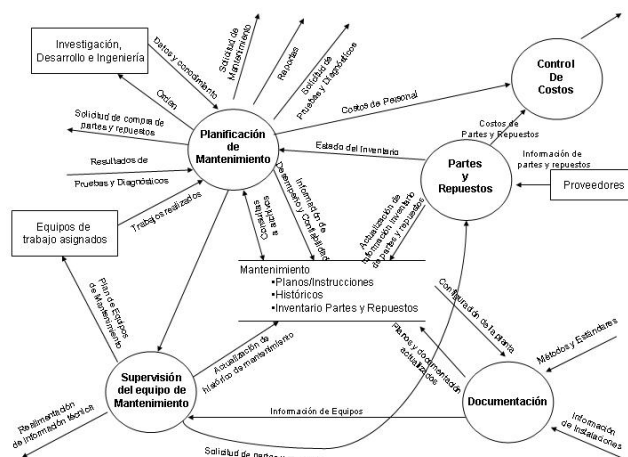


Fig. 5. Diagrama funcional del AMSA

Como se puede observar, en la Fig. 5 se representan las actividades relacionadas con mantenimiento de las instalaciones en una organización orientada a la producción. En el caso del agente de manejo de situaciones anormales (AMSA), estas funciones serán seguidas para planes de mantenimiento correctivo, en caso de la ocurrencia de una situación anormal; las actividades relacionadas con mantenimiento preventivo y predictivo son responsabilidad del agente de ingeniería de mantenimiento. Las funciones constitutivas del diagrama funcional son llevadas a cabo principalmente por el agente coordinador, con el apoyo de los demás agentes del SMA; las mismas se describen a continuación:

- **Planificación de mantenimiento:** establecimiento de pla-

- Supervisión del equipo de mantenimiento: asignación y supervisión del desempeño de las cuadrillas de trabajadores que deben ejecutar las labores de mantenimiento. Esta función requiere del apoyo del agente de manejo de factores de producción del segundo nivel.
- Partes y repuestos: solicitud, asignación y supervisión del uso de partes y repuestos en las labores de mantenimiento. Esta función requiere del apoyo del agente de manejo de factores de producción del segundo nivel.
- Control de costos: basado en los recursos requeridos para ejecutar las labores de mantenimiento, se deben computar los costos asociados a dichas labores.
- Documentación: debe llevarse un registro detallado de las labores de mantenimiento ejecutadas, los equipos que están funcionando y las partes y repuestos incorporadas a las instalaciones.

La Fig. 9 muestra la red de Petri que representa el comportamiento del agente de manejo de situaciones anormales ante la ocurrencia de una falla o de cualquier situación anormal.

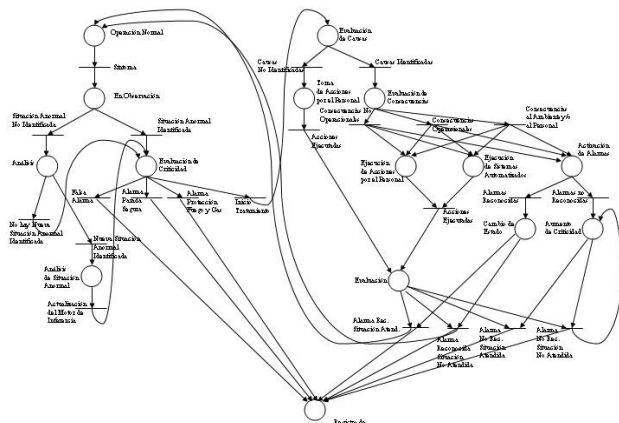


Fig. 6. Comportamiento del AMSA ante una situación anormal

La red de Petri presentada en la Fig. 6 se divide en tres partes o flujos: Detección y diagnóstico, tratamiento y manejo de alarmas.

El flujo correspondiente a detección y diagnóstico recoge las siguientes tareas:

- Obtención de información de estado: monitoreo constante del estado del proceso. Llevado a cabo por el agente de observación.
- Detección de síntomas: detección de señales que puedan identificar la ocurrencia de una situación anormal. Desarrollado por los agentes de observación y controlador.
- Ejecución de pruebas: pruebas realizadas para corroborar la ocurrencia de una situación anormal. Desarrollado por el agente coordinador.
- Identificación de situación anormal: identificación de la situación anormal que está ocurriendo, entre las almacena-

das en el modelo de datos del agente. Llevada a cabo por los agentes controlador y coordinador.

- Identificación de nuevo modo de falla: en caso de no identificar la situación anormal que está ocurriendo, el AMSA interactúa con el agente de ingeniería de mantenimiento para identificar un nuevo modo de falla.
- Evaluación de criticidad: evaluación de la criticidad de la situación anormal que está ocurrida. Llevada a cabo por el agente controlador.
- Alarma de parada segura: emisión de una señal para el comienzo de la parada segura del proceso, en caso de que la situación lo amerite. Desarrollada por el agente controlador.
- Alarma de protección fuego y gas: emisión de una señal para la activación de los procesos de protección de fuego y gas, en caso de que haberse producido un siniestro en las instalaciones. Desarrollada por el agente controlador.
- Registro de eventos: registro de las situaciones anormales que se presentan, las acciones tomadas y demás eventos ocurridos, con el fin de alimentar la experiencia del sistema. Desarrollada por el agente de actuación.

El flujo de tratamiento comprende las tareas de:

- Identificación de causas: establecimiento de las causas de la situación anormal que está ocurriendo. Llevada a cabo por los agentes controlador y coordinador.
- Evaluación de consecuencias: determinación de las consecuencias que puede acarrear la situación anormal que se está presentando. Llevada a cabo por los agentes controlador y coordinador.
- Ejecución de acciones correctivas: ejecución de las acciones correctivas necesarias para solventar la situación anormal que está ocurriendo. Llevada a cabo por el agente de actuación.

El flujo de manejo de alarmas comprende las tareas:

- Emisión de alarmas: emisión de alarmas según criticidad de la situación anormal. La emisión de alarmas es llevada a cabo por el agente controlador.

Hay tres tipos de alarmas:

- Alarmas de bajo nivel: si las consecuencias de la situación anormal no involucra daños operacionales, al personal o al ambiente.
- Alarmas de nivel medio: si la situación operacional involucra consecuencias operacionales.
- Alarmas de nivel alto: si la situación anormal involucra consecuencias que afecten al personal o al ambiente.
- Cambio de estado de alarmas: en caso de que una alarma no haya sido atendido, o que la situación anormal a la que está asociada la misma hay empeorado, es necesario incrementar el nivel de la alarma. Por otro lado, si una situación anormal no ha sido solventada pero está siendo atendida se debe disminuir el nivel de la alarma. El cambio en el estado de las alarmas es desempeñado por los agentes de observación y controlador.
- Evaluación del proceso: una vez tomadas acciones correctivas para solventar una situación anormal, es necesario

evaluar el desempeño del proceso para ver si el resultado es favorable. Esta labor es desempeñada por el agente de observación.

Los procesos de negociación que deben ser desarrollados en los diversos niveles del SMA propuesto están basados en un modelo de coordinación que sigue el estándar FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) y en donde la comunicación está basada principalmente en pases de mensajes, utilizando técnicas como brokering, mecanismos de subastas, broadcasting, entre otras.

El comportamiento del AMSA está atado a un modelo de datos que recoge toda la información que necesitan los agentes para la detección, diagnóstico y tratamiento de situaciones anormales; dicho modelo de datos es alimentado por el agente de ingeniería de mantenimiento y por el propio AMSA. En ese modelo de datos se establece la falla como centro (estableciendo una situación anormal como la ocurrencia de una falla en el proceso), donde esa falla está asociada a la pérdida de una función, que a su vez está asociada a una instalación o equipo específico. Cada falla presenta modos de falla (esto es, la forma en que se presenta la falla), síntomas (la evidencia de que está ocurriendo la falla), causas (razones de que esté ocurriendo la falla), y consecuencias (la incidencia de la falla sobre el proceso); el modelo se completa con las pruebas necesarias para identificar una falla y con las acciones a desarrollar en caso de presentarse la falla. Las fallas se dividen en fallas funcionales, esto es, aquellas fallas que implican la pérdida de la función a la cual están asociadas, y fallas incipientes, que son aquellas detectadas antes de que ocurra la pérdida de la función.

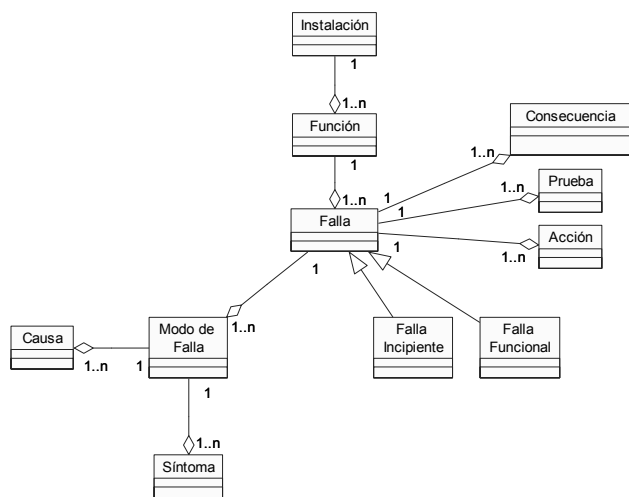


Fig. 10. Modelo de datos del agente AMSA

5 Diseño de los agentes

5.1 Diseño general

El diseño de los agentes se desarrolló bajo la especificación de gestión de agentes de la FIPA (Foundation for Inte-

lligent Physical Agents) y considerando que se cuenta con el SGS, para las gestión de servicios del sistema multiagente. El diseño que se presenta a continuación provee las herramientas necesarias para la implantación de los agentes en cualquier plataforma de desarrollo de SMA's.

El nombramiento de los agentes se hará de forma de identificar unívocamente a cada agente de la arquitectura, el dominio al cual pertenece (esto es, en que localidad reside) y con cuál agente está emparentado, considerando la relación entre los tres niveles de abstracción. El nombramiento estará a cargo del SGS y seguirá las normas de la especificación de gestión de agentes de la FIPA, con la modificación de que se añade un atributo que permite vincular el agente con un agente del nivel superior, es decir, permite establecer la jerarquía de agentes definida en los niveles de abstracción descritos en los capítulos anteriores. Así, cada agente tendrá los siguientes atributos referentes a su nombramiento:

- name: (nombre@dominio) identificador del agente, consta de dos partes, el nombre que identifica al agente, y el dominio que indica la localidad donde funciona. Un agente puede cambiar su dominio por medio de la migración. El nombre del agente consta de una parte que identifica la clase del agente y una parte que identifica al agente en particular; así un agente pozo puede identificarse como pozo_uey2101@dominio1, significando que es un agente pozo identificado como uey2101 (por colocar un ejemplo) y que reside en el dominio "dominio1". Los identificadores de los agentes pueden contener información codificada como por ejemplo, la UEY a la que pertenece el agente, la instalación asociada, etc.
 - addresses: son las direcciones en la red donde se puede ubicar al agente, por ejemplo iiop://dominio1.com.
 - services: son los servicios provistos por el agente; los servicios se describen por medio de los siguientes atributos:
 - name: nombre del servicio.
 - type: tipo de servicio (dependen del caso de estudio, por ejemplo para el modelado de la UEY los servicios pueden ser de producción, de optimización, de mantenimiento, etc.).
 - ontology: sub-conjunto del lenguaje que requiere el servicio.
 - protocol: protocolos que maneja el agente (descritos en el modelo de coordinación).
 - ontology: sub-conjunto del lenguaje que domina el agente.
 - language: lenguaje que usa el agente para comunicarse con otros agentes.
 - parent: agente del nivel superior con el cual está relacionado el agente. (Este atributo se añadió especialmente para la arquitectura propuesta en este trabajo).
- Al igual que en secciones anteriores, se describirán los agentes agrupándolos por nivel de abstracción.

5.2. Diseño de los agentes del primer nivel de abstracción

En esta sección se describirán de forma genérica los agentes del primer nivel de abstracción, por lo tanto, los

nombres en el identificador del agente contendrán sólo el nombre de la clase a la cual pertenece el agente, seguido del sufijo `_id` que representa al identificador del agente. El dominio de los agentes es descrito como `dominio1.com`; sin embargo, como se mencionó anteriormente, el dominio de los agentes identifica la localidad donde ellos residen, por lo que en la implementación, el dominio debe explicitar el servidor donde reside el agente.

Agente pozo

```
(df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name pozo_id@Dominio1.com
:addresses (sequence iiop://Dominio1.com/apozo))
:services (set
(service-description
:name generación-cuota-crudo
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimización-extracción-crudo
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimización-inyección-gas
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name autodiagnóstico-pozo
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI-
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent ())
```

Agente estación de flujo

```
(df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name es_flujo_id@Dominio1.com
:addresses (sequence iiop://Dominio1.com/aes_flujo))
:services (set
(service-description
:name separación-crudo-gas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name cálculo-corte-gas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name autodiagnóstico-es_flujo
```

```
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name recibo-crudo
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name distribución-crudo
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name distribución-gas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI-
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent ())
```

Agente planta compresora

```
(df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name planta_cg_id@Dominio1.com
:addresses(sequence iiop://Dominio1.com/aplanta_cg))
:services (set
(service-description
:name provisión-gas-comprimido
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name información-consumo-producción-gas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name autodiagnóstico-planta_cg
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimización-producción-gas
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI-
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent ())
```

Agente MLAG

```
(df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name mlag_id@Dominio1.com
```

```

:addresses (sequence iiop://Dominio1.com/amlag)
:services (set
(service-description
:name asignación-cuotas-gas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name información-consumo-gas-pozo
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name autodiagnóstico-mlag
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimización-distribución-gas
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent ())

```

Agente patio de tanques

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name patio_tanques_id@Dominio1.com
:addresses(sequence
iiop://Dominio1.com/apatio_tanques))
:services (set
(service-description
:name almacenamiento-crudo
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name cálculo-corte-agua
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name autodiagnóstico-patio_tanques
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name información-producción-uey
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent ())

```

5.3. Diseño de los agentes del segundo nivel de abstracción

Los agentes del segundo nivel de abstracción están emparentados con algún agente del primer nivel, esto es, en el atributo parent se debe especificar a cual agente del primer nivel pertenece el agente en cuestión. Para la definición general de los agentes de este nivel vamos a considerar que los mismos están vinculados con el agente pozo_id@Dominio1.com.

Agente ingeniería de mantenimiento

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name aim_id@Dominio1.com
:addresses (sequence iiop://Dominio1.com/aaim))
:services (set
(service-description
:name mantenimiento-proceso
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name identificación-fallas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
service-description
:name predicción-fallas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name aislamiento-fallas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name establecimiento-plan-mantenimiento
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name ejecución-mantenimiento
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent pozo_id@Dominio1.com)

```

Agente manejo de situaciones anormales

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name amsa_id@Dominio1.com
:addresses (sequence iiop://Dominio1.com/aamsa))
:services (set

```

(service-description
:name detección-situaciones-anormales
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
service-description
:name tratamiento-situaciones-anormales
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
service-description
:name ejecución-acciones-correctivas
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name cálculo-confiabilidad
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
service-description
:name informar-condición-proceso
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent pozo_id@Dominio1.com))

Agente control de procesos

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name control_procesos_id@Dominio1.com
:addresses(séquence
iiop://Dominio1.com/acontrol_procesos))
:services (set
(service-description
:name entonar-parámetros-control
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name informar-condición-operacional
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name control-calidad
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimización-métodos-producción
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)

:parent pozo_id@Dominio1.com))

Agente manejo de factores de producción

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name manejo_factores_producción_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/amanejo_factores_producción))
:services (set
(service-description
:name asignación-recursos
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name informar-inventario-recursos
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name informar-disponibilidad-RRHH
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name optimizar-manejo-recursos
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name mantenimiento recursos
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name despacho-manejo-productos
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent pozo_id@Dominio1.com))

Agente planificación de producción

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name planificación_producción_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/aplanificación_producción))
:services (set
(service-description
:name asignación-cuotas-producción
:type producción
:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name replanificación-producción
:type producción

```

:ontology (set Dominio-Automatización)
(service-description
:name emisión-órdenes-producción
:type optimización
:ontology (set Dominio-Automatización)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Automatización)
:language (set ACL)
:parent pozo_id@Dominio1.com))

```

5.4 Diseño de agentes del tercer nivel de abstracción

Los agentes del tercer nivel deben estar emparentados con algún agente del segundo nivel, y en particular con el AMSA, agente que hemos escogido para explicar el tercer nivel. Se mantiene el mismo dominio de los agentes del primer nivel.

Agente de observación

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name observación_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/aobservación_producción))
:services (set
(service-description
:name informar-estado-proceso
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
:protocol (FIPA-Query)
:ontology (set Dominio-Control)
:language (set ACL)
:parent (amsa_id@Dominio1.com))

```

Agente controlador

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name controlador_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/acontrolador))
:services (set
(service-description
:name decidir-acciones-correctivas
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name alarma-parada-segura
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name alarma-fuego-gas
:type optimización

```

```

:ontology (set Dominio-Control)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Control)
:language (set ACL)
:parent (amsa_id@Dominio1.com))

```

Agente coordinador

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name coordinador_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/acoordinador))
:services (set
(service-description
:name ejecutar-prueba
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name análisis-diagnóstico
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name establecimiento-plan-mantenimiento
:type optimización
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name cálculo-índice-confiabilidad
:type optimización
:ontology (set Dominio-Control)
:protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
:ontology (set Dominio-Control)
:language (set ACL)
:parent (amsa_id@Dominio1.com))

```

Agente de actuación

```

df-agent-description
:name
(agent-identifier
:name actuación_id@Dominio1.com
:addresses (sequence
iiop://Dominio1.com/aactuación))
:services (set
(service-description
:name ejecutar-acciones-correctivas
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description
:name ejecutar-acciones-mantenimiento
:type producción
:ontology (set Dominio-Control)
(service-description

```

:name registro-eventos
 :type optimización
 :ontology (set Dominio-Control)
 :protocol (set FIPA-Request FIPA-Request When FI
 PA-Query FIPA-ContractNet FIPA-Propose FIPA-
 English Auction FIPA-Brokering FIPA-Suscribe)
 :ontology (set Dominio-Control)
 :language (set ACL)
 :parent (amsa_id@Dominio1.com))

Ya que existen vínculos entre los agentes de los niveles de abstracción, cuando un agente es creado, automáticamente se crean (o si ya están creados, se migran al dominio del agente y se asignan a él) los agentes de los niveles inferiores que deben estar vinculados a él. Así mismo, si un agente de un nivel superior es suspendido o eliminado, los agentes de los niveles inferiores son también suspendidos en espera de que el SGS lo destruya o los vincule con otro agente (posiblemente incluyendo migración), según sean las necesidades del SMA.

6 Conclusiones

En este trabajo se presenta una arquitectura para plataformas de automatización industrial basada en sistemas multiagentes. La arquitectura propuesta consta de tres niveles de abstracción. Un primer nivel, en el cual se representan como agentes los objetos de negocio que conforman el proceso productivo, y en el caso de estudio en particular, las instalaciones que conforman una Unidad de Explotación de Yacimientos de petróleo. En un segundo nivel se plantea un SMA cuyos agentes desempeñan las actividades requeridas en un ambiente de automatización industrial, las cuales son: Control de Procesos, Ingeniería de Mantenimiento, Manejo de Situaciones Anormales, Manejo de Factores de Producción y Planificación de la Producción. Estas actividades fueron identificadas a partir del estudio de diversos esquemas de automatización industrial, haciendo énfasis en el planteado en el estándar ISA S.95.00.01. Finalmente, se plantea un tercer nivel de abstracción, en el cual se descomponen cada uno de los agentes del segundo nivel en SMA's, debido a la complejidad de las actividades mencionadas anteriormente.

La arquitectura propuesta permite modelar de manera distribuida las actividades de automatización industrial, dándole a cada objeto de negocio autonomía e inteligencia y distribuyendo las tareas de cada objeto entre los diversos niveles de abstracción.

Referencias

- Aguilar J, Cerrada M y col, 2001a, Aplicación de sistemas multiagentes a problemas del mundo real, XXVII Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI).
- Aguilar J, Cerrada M y Morillo K, 2001b, Intelligent hybrid system: a reliability-based failure management application, *Journal of Advanced Computational Intelligence*, Vol. 5, No. 6.
- Aguilar J, Cerrada M y col, 2001c, Applications of the agents reference model for intelligent distributed systems in: *advances in systems science: measurement, circuits and control*, Edited by: N.E. Mastorakis and L.A. Pecorelli.
- Aguilar J, Rivas F y col, 2002, Tercer informe técnico proyecto Agenda Petróleo, Universidad de los Andes. Mérida. ANSI/ISA 95.00.01, Enterprise control system integration, Part 1: Models and terminology.
- ANSI/ISA 95.00.02. Enterprise control system integration. Part 2: Object model attributes.
- ANSI/ISA 95.00.03. Enterprise control system integration. Part 3: Activity models of manufacturing operations.
- Bigus J y Bigus J, 2001, *Constructing intelligent agents using java*, Second edition, Wiley Computer Publishing, Canada.
- Bravo V, 2003, Propuesta de un sistema de gestión de servicios para el SCDIA, Universidad de los Andes, Mérida.
- Jennings NR y col, *Autonomous agents for bussines process management*, www.researchindex.org.
- FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents). www.fipa.org.
- Mousalli G, 2002, Modelo de referencia para el desarrollo de sistemas de control distribuido inteligente basado en agentes (SCDIA), Universidad de Los Andes.
- Shoham y Moshe T, 1999, *On social laws for artificial agent societies: off-line design*, www.researchindex.org.
- Weiss G, 1999, *Multiagent systems*, The MIT Press, Massachusetts, USA.