TECNOLOGÍA DE AGENTES APLICADA AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO PARA ADQUISICIÓN Y CONTROL

División de Control de Procesos – Centro Atómico Bariloche – Instituto Balseiro

Dorao, Carlos A.
Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Comisión Nacional de Energía Atómica,
Av. Bustillo 9500, C.P.8400 Bariloche, R.N., Argentina.
e-mail:doraoc@ib.cnea.gov.ar

Directores
Fontanini, Horacio R.
Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo.
Av. Bustillo 9500, C.P.8400 Bariloche, R.N.,Argentina.
e-mail: fontanin@bariloche.com.ar
Fernández, Ruben O.
Centro Atómico Bariloche, Control de Procesos, Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo y Comisión Nacional de Energía Atómica,
Av. Bustillo 9500, C.P.8400 Bariloche, R.N., Argentina.
e-mail: rof@cab.cnea.gov.ar

Resumen

Las plantas industriales, como las de producción de energía eléctrica y en particular las de origen nuclear, manifestaron significativos cambios en las últimas dos décadas, tanto en las condiciones como en los requerimientos de funcionamiento. Esto llevó a evaluar el empleo de la emergente tecnología de agentes para desarrollos de sistemas distribuidos de monitoreo y control, capaces de satisfacer las necesidades actuales de las plantas de mediana y gran envergadura que involucran procesos críticos.

Para el análisis de factibilidad se abordó el desarrollo de un sistema prototipo, con el objetivo de poder analizar las ventajas y desventajas del empleo de la tecnología de agentes y, por otra parte identificar las tecnologías complementarias y los problemas involucrados con el desarrollo mismo. Dicho sistema fue dividido en subsistemas y componentes con el objetivo de obtener un diseño modular y reutilizable.

Los diferentes módulos fueron integrados en una arquitectura genérica compuesta de cuatro subsistemas: sistema de supervisón, de campo, de consulta y el externo. Finalmente se evalúo la aplicabilidad de la arquitectura para requerimientos reales, para lo que se consideraron las características de la Central Nuclear de Atucha I y el RRR de Australia.

Área : Sistemas Distribuidos.
Palabras Claves: Sistemas Distribuidos, Sistemas Multiagentes, Sistemas de Monitoreo y Control.

TECNOLOGÍA DE AGENTES APLICADA AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO PARA ADQUISICIÓN Y CONTROL

Introducción General

En los últimos 20 años, los adelantes tecnológicos y los nuevos paradigmas económicos, han modificado los requerimientos a los que se encontraban sometidos los sistemas productivos. Más específicamente, el marcado desarrollo de las tecnologías de "software" y "hardware", la elevada competitividad del mercado y el significativo crecimiento del tamaño de las plantas industriales, revelan la necesidad de adecuar los sistemas de monitoreo y control a las circunstancias actuales.

Diferentes trabajos, [1,2,3] manifiestan la necesidad de desarrollar sistemas de control distribuidos, inteligentes, autónomos, tolerantes a fallas y que, además, sean capaces de adaptarse a los constantes cambios, que se introducen dentro de los ambientes industriales, de manera ágil y confiable.

Las plantas de producción de energía, en particular las de origen nuclear, no se encuentran indiferentes a la situación antes mencionada, por lo que se abordó en este trabajo estudiar la aplicabilidad de la emergente tecnología de agentes para desarrollar una arquitectura de monitoreo y control para sistemas distribuidos.

Las actividades [4,5] que desempeñan estos sistemas pueden ser clasificados en siete tipos de actividades diferentes, figura 1: Lazo de control, puente de datos, señales de control, presentación de la información, ayuda al operador, introducción de comandos y almacenamiento de información.

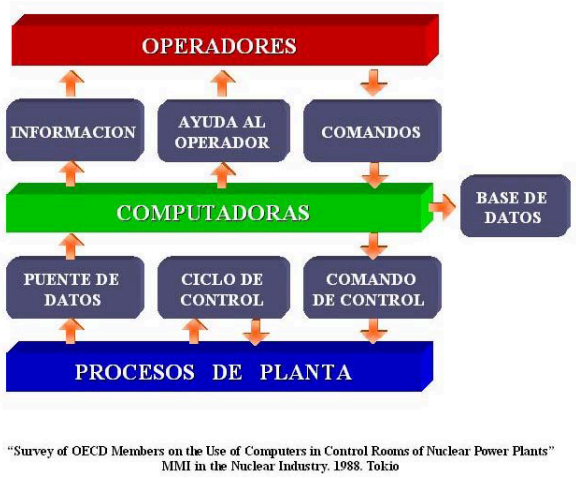

Figura 1. Arquitectura básica de un sistema de monitoreo y control de procesos.

Las exigencias actuales [6], imponen a los sistemas vinculados a las actividades mencionadas requerimientos de modularidad, adaptabilidad, escalabilidad, tolerancia a fallas y autonomía de funcionamiento, para mencionar algunas. Las características intrínsecas de la tecnología de agentes [7, 8], autonomía, reactividad, proactividad,

naturaleza distribuida, etc., permitiría, a los sistemas de monitoreo y control, satisfacer los requerimientos actuales y facilitar el desarrollo de dichos sistemas.

El trabajo de investigación se dividió en tres etapas:

1) Identificación del problema de manera de establecer los requerimientos que deberían satisfacer los diseños de las nuevas arquitecturas de monitoreo y control distribuido.

2) Estudio y análisis de las características de los sistemas multiagentes y de las tecnologías asociadas, como por ejemplo, sistemas de bases de datos.

3) Y finalmente en la última etapa, se identificaron y definieron los problemas vinculados con el desarrollo de un sistema genérico de monitoreo y control, y se analizaron soluciones posibles basadas en la tecnología de agentes y complementarias.

A continuación se presenta un resumen de los principales resultados del trabajo.

Requerimientos Generales

La primera etapa del proyecto, se centró en estudiar y definir las necesidades a las que se encuentran y se podrían encontrar en un futuro próximo, los sistemas de monitoreo y control. Principalmente se consideró:

- Evolución en las tecnologías y arquitecturas de control de procesos e interfaces hombre-maquina.
- Evolución de los sistemas de procesamiento y almacenamiento de información.
- Evolución de la tecnología de control de procesos.

Éste análisis permitió determinar los requerimientos generales a imponer en arquitecturas modernas, para sistemas de monitoreo y control de procesos en plantas de mediana y gran envergadura. Dichos requerimientos pueden resumirse de la siguiente manera:

- **Sistemas Distribuidos**: El problema es estrictamente distribuido. Se propone por lo tanto el empleo de una arquitectura constituida por nodos, donde cada uno presenta una determinada funcionalidad y capacidad de operar de manera autónoma.
- **Sistema Modular y Autónomo**: Cada nodo, debe ser capaz de operar de manera aislada y autónoma. Además, cada uno debe presentar un diseño modular para favorecer el mantenimiento, actualización o expansión del sistema.
- **Sistema Tolerante a Fallas**: Cada nodo debería ser capaz de detectar y corregir problemas locales, como así también poder adecuar el funcionamiento a problemas en otros nodos del sistema. De los dos requerimientos anteriores, se puede inferir la capacidad de tolerancia a fallas del sistema en conjunto.

Estas características permitieron identificar y definir los principales problemas a los que se encontraría expuesto un desarrollo de software que busque satisfacerlas. Por simplicidad éstas fueron agrupadas en seis tipos de problemas o sistemas, los cuales son presentados a continuación:

1. Sistemas de Comunicación entre procesos Distribuidos
2. Sistemas de Almacenamiento y Administración de Información Distribuida

3. Sistemas de Adquisición de Información Distribuido
4. Sistemas de Control Distribuido
5. Sistemas de Control de Funcionamiento de Software Distribuido
6. Sistemas de Interacción Hombre Maquina

Estos sistemas son luego integrados en un prototipo de una arquitectura genérica.

Sistemas de Comunicación entre procesos Distribuidos

En un sistema distribuido existen procesos ejecutándose en terminales diferentes que pueden requerir tanto del intercambio de información como de la invocación remota de métodos en diferentes sistemas. En consecuencia, se estudió la aplicabilidad de la tecnología de agentes en procesos distribuidos, en tareas de intercambio de información e invocación remota de métodos, figura 2.

Los sistemas de desarrollo de sistemas multiagentes, incorporan mecanismos para el intercambio de información entre agentes, tanto locales como externos. A pesar de esto, se analizó la utilización de objetos y agentes móviles, con el objetivo de desarrollar sistemas más tolerantes a fallas y para la disminución del intercambio innecesario de información.

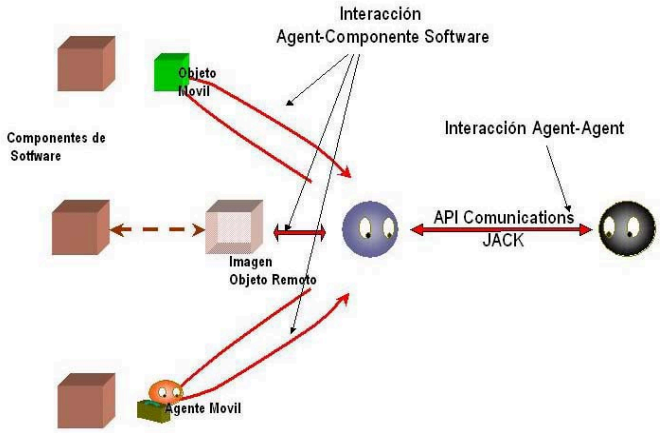

Figura 2. Interacciones entre Agentes y componentes de software.

Comunicación Agente–ComponenteSoftware

Interacción basada en RPC[1]. La comunicación entre programas basada en mecanismos tipo RPC, puede ser implementada por medio de la utilización de tecnología RMI o CORBA. En particular en este trabajo se emplearon los métodos de creación remota de objetos [9], del sistema Voyager ORB 3.0.

Interacción Basada en Agentes Wrapers[2]. Los agentes Wrapers tienen por función generar una interfaz de agente del objeto. Es decir, el objeto interactúa como un agente de la comunidad. Este mecanismo permite una independencia de la definición del objeto, ya que el agente wraper puede traducir los requerimientos al objeto.

[1] Activación de procedimientos remotos.
[2] Cobertores, sistemas que encubren la funcionalidad mostrando un comportamiento de agentes.

Interacción Basada en Objetos móviles. El movimiento de objetos permite disminuir la transferencia intermedia de información, desplazando el objeto cerca de la información para realizar las operaciones requeridas para luego regresarlo al origen con el resultado.

Comunicación Agente-Agente

Interacción Agente-Agente basados en mecanismos propios. Sistemas de desarrollo de agentes, como por ejemplo Jack 3.1, incorporan dentro de su API mecanismos de comunicación entre agentes, tanto locales como externos al sistema multiagente.
Comunicación Basada en Agentes Móviles. El empleo de agentes móviles permite la reducción del volumen de información intercambiada entre agentes ubicados en computadoras diferentes y mejorar los mecanismos de recolección de información distribuida. Por otra parte, puede operar con independencia de la computadora de origen, donde fue creado, favoreciendo el desarrollo de sistemas tolerantes a fallas.

Sistema de Almacenamiento y Administración de Información Distribuida

En los sistemas de adquisición de información distribuidos, el almacenamiento y administración de la información representa una componente fundamental del sistema. La información en los sistemas de monitoreo y control puede ser clasificada en información de Tiempo Real e Histórica.

- Información de Tiempo Real: los datos adquiridos de la planta son inmediatamente utilizados por los diferentes sistemas durante un intervalo de tiempo determinado.
- Información Histórica: Una vez que los datos fueron utilizados, éstos pueden almacenarse hasta que los sistemas, que emplean información historia, los requieran.

En consecuencia un sistema de administración de información para monitoreo y control de procesos involucra dos componentes principales: la administración de información de tiempo real y la de información histórica.

Sistema de Administración de Información

En particular, en el trabajo se evaluó el empleo de Bases de Datos Orientadas a Objetos y Administradores de datos de tiempo real: La base de dato orientada a objetos se la emplea como administrador de datos históricos y un sistema propietario como administrador de datos de tiempo real como base de dato local.

La información de las bases de dato de tiempo real es colectada por medio de agentes móviles y entregada a un agente administrador de información quien la dispone en la base de datos histórica de información.

Modelo de Dato de la información de Planta

Para facilitar la administración de la información de la planta, se desarrolló un modelo de representación de la información que facilite el intercambio y procesamiento de información entre los diversos sistemas que intervienen.

El modelo se encuentra constituido de dos partes, una representación física-funcional de la entidad involucrada y una representación temporal del estado del mismo.

Descomposición Física–Funcional: Una planta puede ser considerada como un sistema compuesto de bloques, donde cada uno de estos representa una determinada funcionalidad o elemento físico. Cada bloque tiene asignado un ***código de bloque CIB***, el cual permite identificarlo.

Este modelo genérico de la planta se emplea para la representación de los diferentes componentes de la misma. Por lo tanto, una descripción de la planta se compone de capas, donde cada una representa un tipo de entidad, por ejemplo la información de la base de datos, el acceso a los instrumentos, la documentación de la planta, etc.

Descomposición Temporal: Dado que existe la imposibilidad de poder generar una representación del estado de la planta para un dado tiempo por la diferencia en la resolución temporal de la información, se introduce en cada bloque una estampa de tiempo y la información del estado del bloque para ese instante.

El modelo de representación temporal de la planta se compone de dos niveles: un primario y un secundario. En el nivel primario, se presenta una vista de los bloques de planta con una discretización temporal de referencia. En cada vista, los bloques definen su propia discretización temporal, que corresponde al nivel secundario del modelo, figura 6.

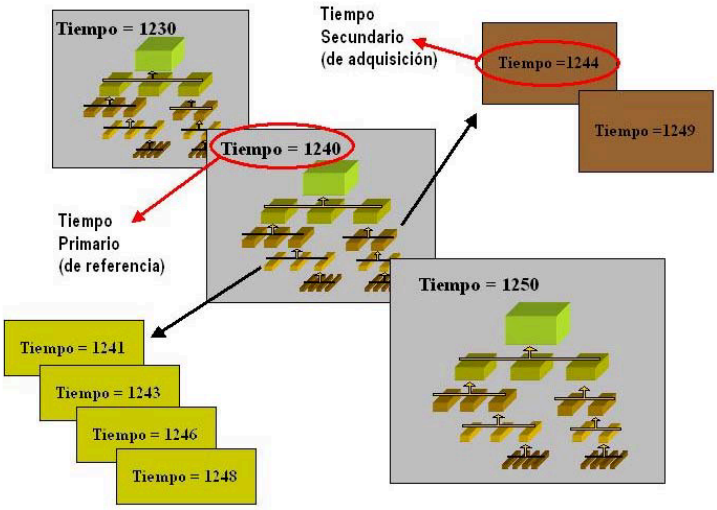

Figura 6. Modelo de descripción de planta. Descripción temporal.

Sistema de Adquisición de Información Distribuido

La envergadura de la planta, la complejidad y disposición de los procesos, y otros tantos factores determinan principalmente las características de los dispositivos de monitoreo y control. Todos estos dispositivos conforman una red de instrumentación de componentes muy variados. El acceso a estos puede ser por medio de diferentes mecanismos, aunque en los últimos años, se observa la tendencia del empleo de un protocolo común, como es OPC. Éste permite el acceso a diferentes dispositivos por medio de un mismo protocolo de intercambio de información. Por otra parte, el empleo de

computadoras como terminales de adquisición de datos distribuida, facilitan el tratamiento del problema.

En particular, en esta parte se evalúa el empleo de agentes especializados en adquisición de información desde una red de instrumentación, y su interacción con un sistema de Base de Dato de Tiempo Real, donde el agente deposita la información que será empleada por otros agentes o componentes de software.

Modelo de Adquisición de Información

El sistema de adquisición distribuido se compone de agentes de adquisición y una base de datos local de tiempo real, figura 7. El agente de adquisición tiene el objetivo de obtener la información del instrumento asignado, el acondicionamiento de la misma y la disposición en la base de datos de tiempo real. Para cumplir con el objetivo asignado al agente, éste incorpora dos interfaces: la interfaz de instrumentación y la interfaz de la base de datos de tiempo real.

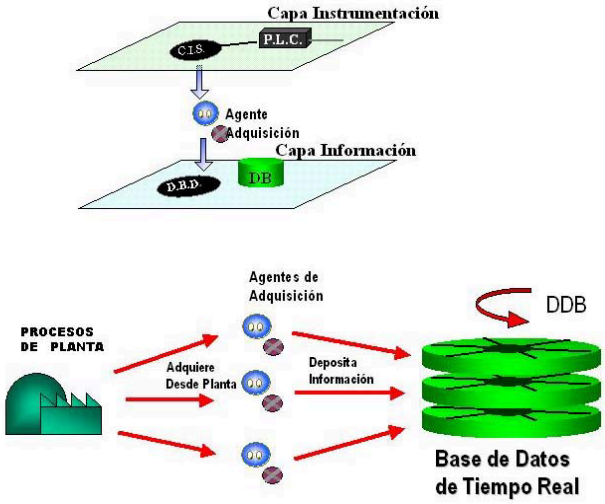

Figura 7. Modelo de descripción de planta. Descripción temporal.

Sistema de Control Distribuido

Los sistemas de control distribuidos permiten desarrollar pequeños sistemas de control especializados en monitorear una parte del proceso. Esta distribución de las tareas de control, otorga al sistema en conjunto una mayor tolerancia a fallas. Además, disminuye la complejidad de un sistema centralizado equivalente y reduce los problemas de la transferencia de información.

Definición de la Arquitectura de Control basada en Agentes

Los principales agentes del sistema de control son, figura 8:

Agente Actuador: Transfiriendo señales de control a los actuadores asignados.

Agente Control de Procesos: Genera las señales de control.

Agente de Supervisión de Procesos: Determina la modalidad de funcionamiento, como por ejemplo, alarma, apagado, normal, etc.

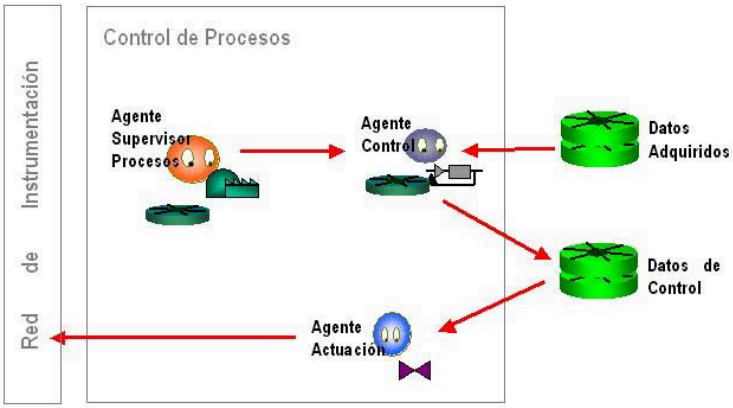

Figura 8. Principales agentes del sistema de Control Distribuido y sus interacciones.

Sistema de Control de Software Distribuido en Sistemas Críticos

La criticidad de los procesos involucrados, impone exigencias particulares sobre la confiabilidad de los agentes de software y de los componentes de software.

Por tal motivo se introduce un agente especial denominado supervisor de software encargado de monitorear el funcionamiento del sistema en conjunto.

Sistema de Interacción Hombre-Máquina

Por las características descentralizadas del sistema de control, el operador cumple la tarea de evaluar el correcto funcionamiento de la planta, y de evaluar si los mecanismos de control operan de manera satisfactoria, para esto entre la planta y la consola de operación existe un constante intercambio de información, figura 9.

Para facilitar la presentación de la información de los procesos de la planta, se desarrollo el modelo de representación de planta, el cual involucra tres elementos:

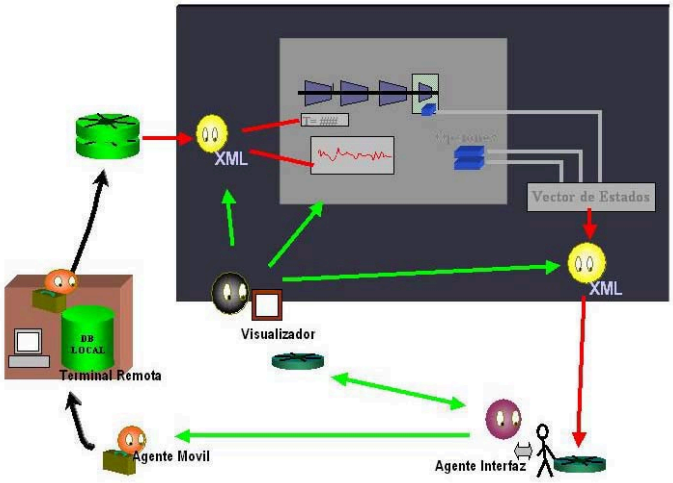

Figura 9. Estructura del sistema de Interfaz Hombre Maquina.

- ***Código de Identificación del Modelo CIM***: que permite identificar rápidamente que nivel de información de la planta se encuentra involucrada.
- ***Definición gráfica del Modelo***: que contiene la presentación de la planta que observará el operador.
- ***Estructura de Datos del Modelo***: que representa la información de cada modelo, o la información que se puede obtener de la interacción con el operador se define por medio de un documento genérico de intercambio de información.

Arquitectura Genérica de un Sistema de Monitoreo y Control de Procesos Distribuidos basada en Agentes

Con el objetivo de evaluar la interacción de todos los componentes presentados antes, se abordo la integración de los mismos en un sistema de adquisición y control distribuido.

El sistema prototipo esta constituido por cuatro subsistemas, figura 10:

- Sistema de Campo: Operaciones de monitoreo y control.
- Sistema de Supervisión: Interfaz hombre-máquina.
- Sistema de Consulta: Administración de información.
- Sistema Externo: Consulta externa de información.

Sistema de Campo. En este sistema se concentran las actividades de adquisición de información de planta y control de procesos. Cada sistema de campo, es responsable del control de los procesos de una determinada zona de la planta. Éste se encuentra constituido por un sistema de agentes de adquisición de datos y control de procesos, una base de datos local, un sistema de comunicaciones y el sistema de instrumentación.

Sistema de Supervisión. El sistema de supervisión constituye la interfaz hombre maquina del sistema. Presenta una red lógica de terminales de monitoreo especializadas en la presentación de información de la planta y en la generación de comandos de control.

Sistema de Consulta. Este sistema es el encargado de centralizar la información de la planta en una base de datos histórica. Por otra parte se centraliza toda la información relacionada con la planta, que pueda ser requerida por los operadores y otros usuarios.

Sistema Externo. Este sistema está formado por todas las terminales que necesitan información almacenada en los históricos de la planta. Las características de la planta determinan el número de departamentos que dependen de la información generada por los sistemas de monitoreo. Por ejemplo, departamento de mantenimiento, producción, programación, etc.

Por simplicidad, puede considerarse a cada uno de estos sistemas está formado por tres capas: Física, Lógica y de Comunicaciones:

Capa Física: constituida por una red de computadoras en la cual se diferencian cuatro subredes, que corresponden a los cuatro subsistemas.

Capa Lógica: constituida por una red de nodos lógicas con una determinada funcionalidad, cada nodo es un sistema multiagente. Se distinguen cuatro de tipos de nodos correspondientes a los cuatro subsistemas mencionados en la capa física.

Capa Comunicaciones: es la encargada de centralizar los mecanismos para el intercambio de información entre los nodos lógicos, lo que se basa principalmente en la tecnología de objetos o agentes móviles.

A continuación se presentan los diferentes sistemas mencionados y la interacción entre estos, figura 10.

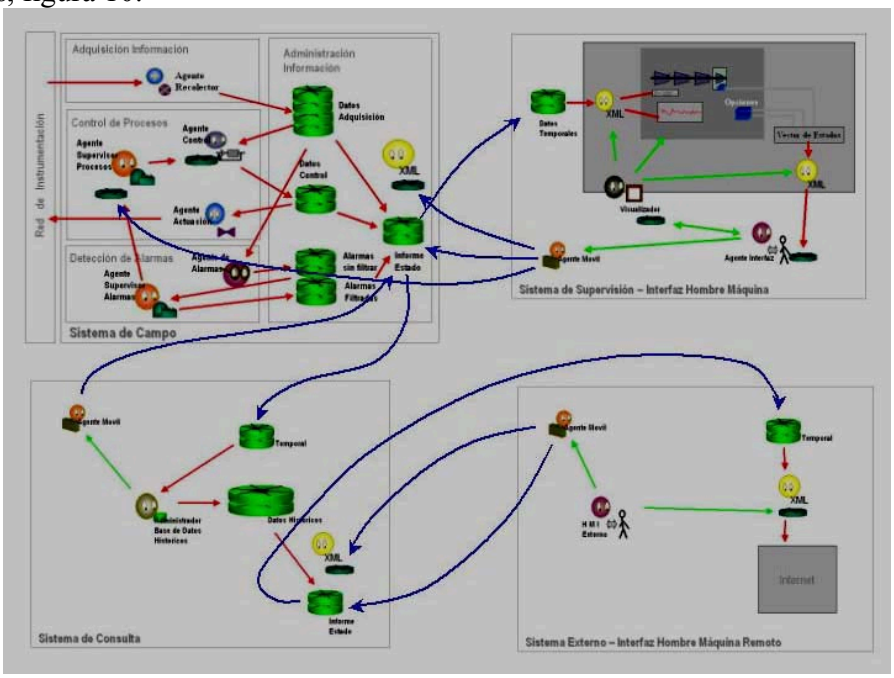

Figura 10. Arquitectura Genérica del Sistema de Adquisición, Monitoreo y Control de Procesos. Interacciones de principales agentes.

Como puede observarse, la comunicación entre cada sistema se basa en agentes móviles lo que permite que cada sistema opere de manera totalmente independientemente.

Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad de emplear la tecnología de agentes en desarrollos de sistemas distribuidos de adquisición, monitoreo y control de procesos.

Por una parte, fue posible ejecutar un conjunto de 10 agentes, asignados a una señal cada uno, con lo que pudo adquirirse datos cada 500 mseg., desde una planta simulada en la misma terminal. Además, un único agente puede adquirir del orden de 100 señales por segundo. Pero al ejecutar un mayor número de agentes, es necesario sintonizar el sistema para determinar la relación adecuada entre el número de señales y número de agentes.

En estas condiciones los agentes presentaban demoras del orden de los 10 a 50 mseg. entre la adquisición y la escritura en la base de dato local, demoras que resultan aceptables para los sistemas de adquisición de información. Estas pruebas se ejecutaron en una Pentium II- 400 MHz de 128 MB de RAM con una Java Virtual Machine 1.3.

Por otra parte, se evaluaron agentes móviles para transportar información entre terminales remotas. Para esto se utilizo una red ethernet de 100, una computadora Pentium

II-400 de 128 MB de RAM y una computadora con procesador Intel de 433 MHz de 64 MB de RAM ambas ejecutando Java Virtual Machine 1.3. Sobre esta configuración los tiempos involucrados entre migración se encuentran en el orden de los 200mseg a 500mseg. permitiendo enviar un agente para colectar información en un nodo remoto y regresar con ésta, en tiempos menores a 1 seg. Estos tiempos se encuentran dentro de los esperados por ejemplo para un sistema de presentación de información.

Por lo tanto, en lo que respecta a la factibilidad de implementación se puede concluir que la tecnología actual estaría permitiendo, en primera instancia, desarrollar estos sistemas con las restricciones correspondientes. Y se podría pensar en un futuro no muy lejano, reducir las restricciones de, por ejemplo, el número de agentes, frecuencias de adquisición, tiempos de migración, etc.

Se pudo determinar que el empleo de dicha tecnología favorece significativamente el trabajo del desarrollo de dichos sistemas. A pesar de que las tecnologías vinculadas se encuentran aun en fase de desarrollo se pudo observar que se disponen, básicamente, de todos los elementos necesarios para enfrentar dichos desarrollos.

Para poder aprovechar de manera satisfactoria esta tecnología, es necesario esperar mejoras en lo que respecta a las comunicaciones de red como a la capacidad de cálculo de las computadoras.

Bibliografía

1. William E. Johnston, Brian Tierney , "Real-Time Widely Distributed Instrumentation Systems". Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720

2. "Power Monitoring and Control, The Evolution of Industrial Power Monitoring and Control Systems". http://www.electricityforum.com/et/apr98/aprpmc.htm

3. Sivaram Balasubramain, Douglas H. Norrie. "Intelligent Manufacturing System Control", División of Manufacturing Engineering. University of Calgary.

4. W.G. Kennedy "Survey of OECD members on the use of computers in control romos of nuclear power plants" Man-machine interface in the nuclear industry. Conference proceedings Tokio, 15-19 february 1988. pag 193 – 200

5. H. Sato, M Kudo, F. Murata, T. ITO"Improvement of the man-machine interface using advanced information technology in plant operation". Man-machine interface in the nuclear industry. Conference proceedings Tokio, 15-19 february 1988. pag 273 – 286

6. Weiming Shen and Douglas H. Norrie. "Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey" Division of Manufacturing Engineering, The University of Calgary, Alberta, Canada, T2N 1N4

7. M. Wooldridge and N.R. Jennings, "Intelligent Agents: Theory and Practice". The Knowledge Engineering Review, Vol. 10, N2, 1995, pp 115-152.

8. H. Van Dyke PARUNAK "Practical and Industrial Applications of Agent-Based Systems". Industrial Technology Institute

9. "Voyager ObjectSpace – ORB 3.0 Developer Guide"