

# Monitoreo de variables críticas en procesos industriales mediante una arquitectura multiagente

Luis Arturo Madrid Hurtado, Oscar Mario Rodríguez-Elias,  
Germán Alonso Ruiz Domínguez y Guillermo Valencia Palomo

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Hermosillo,  
Av. Tecnológico S/N, Hermosillo, Sonora, 83170, México  
arturo\_madrid38@hotmail.com, omrodriguez@ith.mx,  
gruiz@ith.mx, gvalencia@ith.mx

**Resumen** Este trabajo muestra el diseño de un sistema multiagente para apoyar el monitoreo de variables críticas en procesos industriales. La propuesta ha sido validada mediante la implementación de un prototipo para monitoreo de variables de temperatura en un proceso de extrusión simulado. El sistema desarrollado se basa en una arquitectura que define un conjunto de agentes con funciones definidas, los cuales interactúan entre ellos y con diversos elementos del sistema, entre estos los dispositivos de control industrial, y bases de datos; en el caso concreto abordado en este trabajo, los dispositivos son un PLC industrial y SQL Server, una configuración común en la práctica.

**Palabras clave:** Sistemas multiagentes, procesos industriales, monitoreo inteligente.

## 1. Introducción

Los sistemas productivos están formados por un alto número de elementos de características muy dispares, que al actuar conjuntamente consiguen el objetivo del sistema: realizar productos que satisfagan las necesidades del mercado. La eficacia de estos sistemas se debe fundamentalmente a la cooperación de los elementos individuales que influyen en la eficiencia global del sistema [1], [2].

Un sistema productivo que pretenda ser competitivo en este entorno tiene que poseer ciertas características, que en otras condiciones no eran tan importantes. Aspectos como flexibilidad, adaptabilidad y rapidez de respuesta han pasado de ser aspectos deseables, a convertirse en la clave del éxito de muchas empresas.

Dentro de estos sistemas de producción existen grandes cantidades de variables y/o datos que deben ser analizados constantemente, con el fin de prevenir fallas, estancamientos o paradas en la línea de producción, para ello se utilizan sistemas informáticos o de computación que se encargan de estudiar los datos de las variables y controlarlas en forma automática.

Esto no solo ayuda a prevenir y corregir fallas dentro de los procesos de producción, sino que también podría ayudar en la optimización de dichos procesos, y lograr que el sistema se comporte de manera “inteligente”, lo que ha llevado a pensar que las nuevas tecnologías surgidas de la teoría de inteligencia artificial distribuida,

servirán para el diseño de herramientas que implementen control y supervisión inteligente a los procesos de producción.

Tomando en cuenta que el desarrollo de software basado en agentes inteligentes permite diseñar soluciones para sistemas sofisticados y complejos [3]; en este trabajo se aborda el diseño de una arquitectura multiagentes para apoyar en la captura de datos de variables críticas en un proceso industrial, como un primer paso hacia la construcción de sistemas de monitoreo y control inteligente.

## **2. Aplicación de los Sistemas multiagentes en Procesos industriales**

Los sistemas automatizados se pueden representar mediante diferentes niveles, cada uno de los cuales tiene características operacionales adecuadas [3]: nivel de dispositivos de campo (nivel operacional), nivel de control y optimización, y nivel de gerencia de los procesos (nivel estratégico).

Los agentes inteligentes surgen como una respuesta a la necesidad de contar con aplicaciones de software que resuelvan problemas complejos minimizando la intervención externa, ya que estos son una manera de descomposición de sistemas y una alternativa razonable para implantar las funcionalidades de automatización en los diferentes niveles [4], [5]. Así, los niveles de un sistema automatizado se pueden representar por sub-sistemas, los cuales son definidos por agentes y comunidades de agentes.

El propósito de los agentes dentro de los sistemas de automatización es para proporcionar una capa adicional de acceso a la información que sea inteligente y activa, lo que permitirá una utilización más fácil y eficiente de la información para las personas que son usuarios de dicho proceso.

A continuación se muestran dos de los ámbitos principales de los sistemas de producción industrial en los cual se ha aplicado de forma más efectiva los sistemas multiagentes.

### **2.1. Control de procesos, monitoreo en tiempo real**

Las actividades ligadas al control del proceso, el monitoreo y el diagnóstico en tiempo real están estrechamente relacionadas. El monitoreo implica la observación, el registro y el procesamiento de señales, y la detección de condiciones anormales del proceso de control. El diagnóstico es el proceso de generación de las teorías probables sobre las causas que originaron el estado actual, en este caso una anomalía dentro del sistema. En este campo se ha introducido con éxito la tecnología multiagente para un control en tiempo real flexible y distribuido [6–10].

Uno de los primeros desarrollos de esta tecnología se centro en el control de un sistema de agua helada (chiller). Para resolver el problema de la migración de tecnología, el firmware de los controladores clásicos se amplió para permitir la ejecución de agentes inteligentes directamente en el interior del controlador. Más de un agente se ejecutan en un solo controlador, y la red de controladores puede albergar una comunidad bastante grande de agentes. Esta tecnología ha sido probada con éxito

en las instalaciones de EE.UU. NAVY en Filadelfia, consiste de 116 agentes que se ejecutan en 6 Controladores [11].

## 2.2. Programación y el control de la producción

La programación de la producción es el proceso de selección entre planes alternativos y la asignación de recursos y tiempos a las actividades en el plan, estas asignaciones deben obedecer a un conjunto de reglas o restricciones que reflejan las relaciones temporales entre actividades, la tecnología de producción y, las limitaciones de capacidad de los recursos compartidos.

El control de fabricación se refiere a las estrategias y algoritmos para el funcionamiento de una planta de fabricación, teniendo en cuenta tanto los estados observados en el pasado como en el presente la planta de fabricación, así como la demanda del mercado. De esta manera en un sistema de fabricación basado en agentes, estos se encargan de realizar la coordinación de los recursos de producción disponibles, a fin de realizar los productos requeridos [12–15].

## 3. Caso de estudio: monitoreo de temperaturas críticas en un proceso de extrusión de caucho

La extrusión de materiales termoplásticos es un proceso de transformación de la materia prima, que consiste en la fusión de dicho material y una posterior inyección a través de un conducto que le dará la forma deseada. Es posible encontrar varios tipos de extrusoras, siendo la más comúnmente utilizada la extrusora mono-husillo (mono-tornillo).

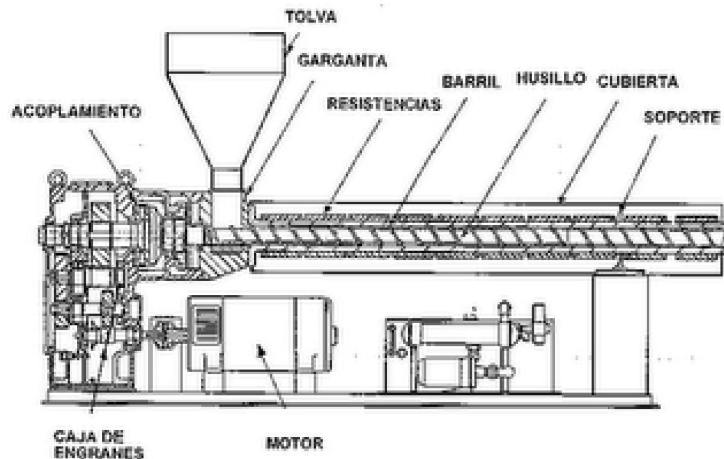
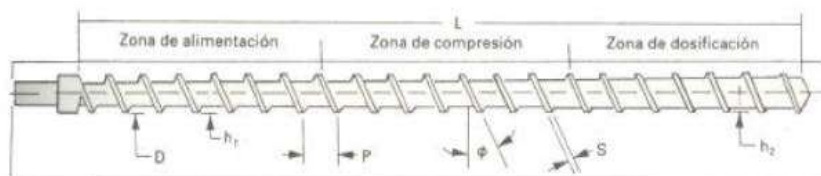


Fig. 1. Corte de Extrusor Mono-husillo (Fuente: <http://www.empaqueperformance.com.mx>).

El husillo está dividido en tres zonas bien definidas (ver Fig. 2): 1) zona de alimentación, 2) zona de compresión, 3) Zona de dosificación.



**Fig. 2.** Partes del husillo [16]

Dentro de este proceso uno de los factores que más incide en la calidad del producto terminado y en el aprovechamiento de la materia prima, es la temperatura durante la extrusión, por lo que el monitoreo y control de este parámetro es de vital importancia en el desempeño del proceso.

Tomando en cuenta lo anterior, en este trabajo se realizó un sistema que monitoree la temperatura de las zonas en las que está dividido el husillo del extrusor, con el fin de garantizar la estabilidad de la temperatura ya que como se mencionó anteriormente la etapa de calentamiento es una de las más críticas del proceso, debido a que el polímero debe ser fundido dentro de un rango de temperaturas específicas para que no se alteren sus propiedades.

Para esta aplicación se monitoreará el proceso de extrusión de caucho de santoprene; un material estable al calor hasta temperaturas de 246 °C [17].

Las condiciones de temperatura óptimas para la extrusión de este caucho se pueden ver en la siguiente tabla:

**Table 1.** Temperaturas óptimas para extrusión de caucho santoprene [17].

Zona del Extrusor	Temperatura (°C ± 5)
Zona de Alimentación.	176 °C
Zona de Compresión.	182 °C
Zona de Dosificación.	182

## 4. Sistema multiagente para monitoreo de temperaturas

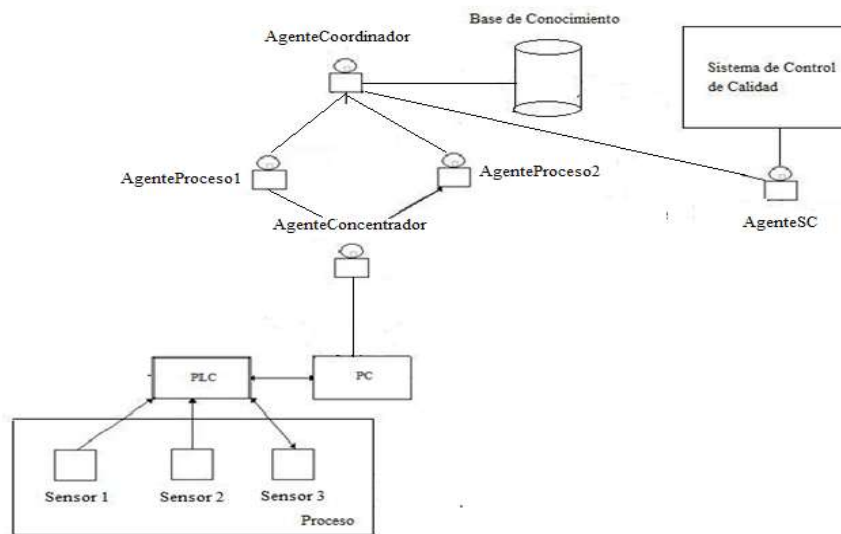
Para apoyar en el monitoreo de variables críticas en procesos industriales, hemos diseñado una arquitectura multiagente que pueda ser adaptada a diferentes tipos de procesos. En este trabajo se ejemplifica el uso de dicha arquitectura por medio del caso de estudio ejemplo introducido en la sección anterior. A continuación se describe la forma en que se realizó el diseño del sistema siguiendo la arquitectura, así como la implementación de un prototipo para validar la viabilidad del sistema y la arquitectura propuesta.

### 4.1. Diseño del sistema

Esta sección muestra el diseño de un sistema basado en agentes inteligentes, que sirva como referencia para el desarrollo de sistemas de monitoreo de datos críticos

dentro de procesos de producción industrial. El sistema cuenta con una comunidad de agentes, que interactúan entre sí para llevar a cabo las tareas de supervisión de las variables más importantes dentro del proceso. Para este modelo se definieron las variables procesadas y generadas por un PLC (Controlador Lógico Programable) y los datos que son capturados por el sistema de gestión de calidad (en hojas de Excel) como las fuentes principales de datos, sobre las cuales actuarán los agentes, esto debido a que es una configuración comúnmente usada en la práctica.

La comunidad de agentes está formada por cuatro tipos de agentes, Agentes Coordinadores, Agentes de proceso, Agente Concentrador y Agentes que monitorean los datos del sistema de calidad, descritos a continuación.



**Fig. 3.** Arquitectura del sistema.

- **Agente Coordinador.** Se encarga de coordinar la información que será requerida del proceso, solicitándola a los agentes de proceso. También se encarga de recopilar y almacenar dicha información en una base de datos.
- **Agente de Proceso.** Se encarga de monitorear una o varias variables específicas del proceso, y de enviarlas al agente coordinador cuando éste se la solicite o cuando ocurra un cambio significativo en las variables.
- **Agente Concentrador.** Establece el enlace con el PLC, para obtener el valor de las variables importantes del sistema, y mandársela a los agentes de procesos cuando estos las soliciten.
- **Agente Monitoreador De SGC.** Monitorea los datos capturados para el sistema de calidad, estableciendo el enlace con las hojas de cálculo donde son capturados, para obtener su valor y mandarlos al agente coordinador cuando este lo solicite o cuando ocurran cambios significativos.

La figura 3 muestra la arquitectura del sistema. Es posible observar las interacciones que se dan entre los diferentes tipos de agentes, y donde el objetivo

general del sistema es almacenar las variables más importantes en una base de conocimiento para su posterior análisis.

#### 4.2. Implementación del prototipo

La implementación de los Agentes se hizo sobre la plataforma JADE (<http://jade.tilab.com/>), como se muestra en la figura 4. El desarrollo de las aplicaciones se realizó en NetBeans 7.0, con java JDK 1.6.

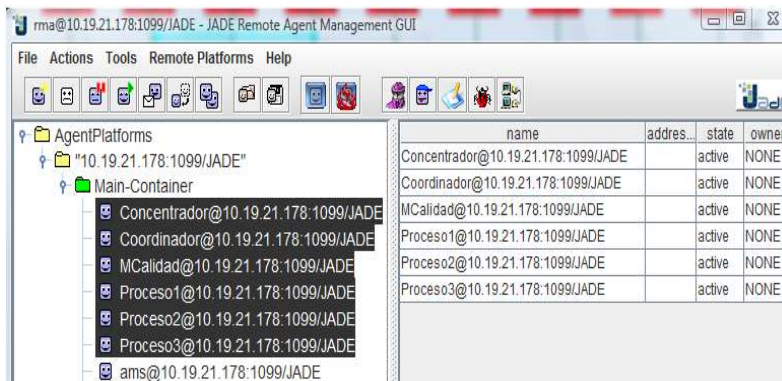


Fig. 4. Implementación de agentes en JADE.



Fig. 5. Simulación de temperaturas de Extrusión en LabView.

Para implementar el sistema fue necesario contar con una aplicación que le enviara datos al PLC, simulando el proceso de producción. Para esto se utilizó LabView, que permitió simular las variaciones de temperaturas en las diferentes zonas del extrusor que los agentes estaban encargados de monitorear (ver figura 5).

Con ayuda del Agente utilitario Sniffer de JADE, como se muestra en la figura 6, es posible observar los mensajes enviados por los agentes de la comunidad, esto con

el fin de cumplir sus objetivos. Para la comunicación de los agentes fue necesario generar una ontología que manejara los conceptos básicos del lenguaje de comunicación.

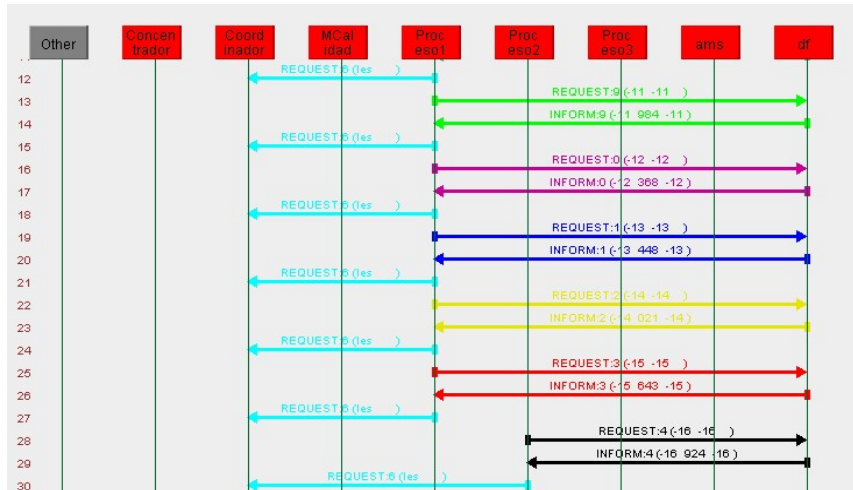


Fig. 6. Mensajes entre Agentes en caso de estudio.

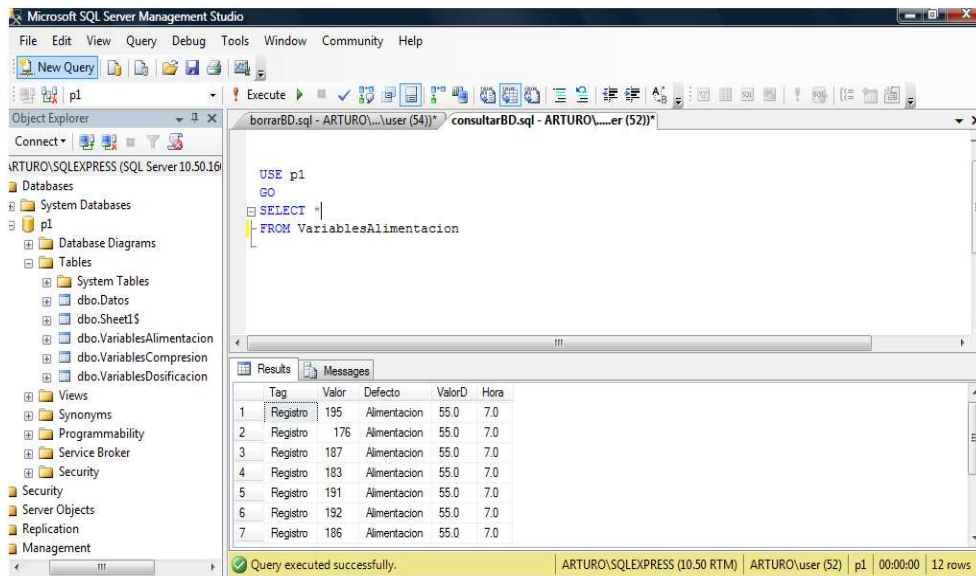


Fig. 7. Almacenamiento de cambios significativos en base de datos.

Finalmente en la figura 7 se muestra como los agentes almacenan, en una base de datos en Microsoft SQL server 2008, los cambios significativos de las variables, en este caso un incremento de 10 °C en las temperaturas ideales de extrusión del caucho de santoprene.

## 5. Conclusiones y comentarios finales

En este trabajo se ha mostrado el diseño de una arquitectura multiagente genérica para apoyar en el monitoreo de variables críticas en procesos industriales. La arquitectura ha sido validada con la implementación de un prototipo para el monitoreo de variables críticas de temperatura en un proceso de extrusión simulado. Se pudo comprobar que los agentes desarrollados para este caso de estudio, cumplieron con las actividades de monitoreo y almacenamiento de los cambios significativos en las variables críticas del sistema, lo cual es el primer paso, a fin de que estas variables sean posteriormente analizadas y sirvan para una adecuada toma de decisiones.

Cabe destacar que para la implementación del sistema se han aprovechado las capacidades de transmisión de datos vía Ethernet de los dispositivos de control industrial, en nuestro caso un PLC con un módulo web. El siguiente paso en la implementación del sistema multiagente es agregar las fases de análisis de los datos capturados, para posteriormente apoyar en la mejora del sistema de control de forma inteligente, flexible y en tiempo real, lo cual constituye nuestro trabajo futuro.

El objetivo de este trabajo en el mediano y largo plazo, es proveer herramientas que apoyen en la mejora de los sistemas de automatización y control industrial, integrándolos con los sistemas de manejo de información y toma de decisiones mediante el uso de tecnologías de inteligencia artificial, particularmente agentes de software, que apoyen en la gestión de datos, información y conocimiento al interior de los procesos de producción, vía la comunicación directa con los dispositivos de control industrial.

**Agradecimientos.** Este trabajo ha sido financiado parcialmente por PROMEP (oficio 103.5/11/840). Se agradece el apoyo de Conacyt con la beca numero 58920.

## Referencias

1. M. P. Groover: Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing. 3rd ed. Prentice Hall, p. 840 (2007)
2. J. A. Araúzo, J. J. De Benito Martín, R. del Olmo Martínez, and P. A. Angulo Sanz: Situación actual y expectativas de los sistemas de fabricación basados en agentes. In: VIII Congreso de Ingeniería de Organización, pp. 1043-1052 (2004)
3. A. Ríos-Bolívar, M. Cerrada, F. Narciso, F. Hidrobo, and J. Aguilar: Implantando sistemas de control con agentes inteligentes. Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 29, no. 3, pp. 249-260 (2008)
4. C. Bravo, J. Aguilar, and F. Rivas: Diseño de una arquitectura de automatización industrial basada en sistemas multiagentes. Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 25, no. 2, pp. 75-88 (2004)
5. T. Wagner: An agent-oriented approach to industrial automation systems. Agent Technologies, Infrastructures, Tools, and Applications for E-Services (LNCS), vol. 2592, pp. 314-328 (2003)
6. W. Shen, D. H. Norrie, and R. Kremer: Developing Intelligent Manufacturing Systems Using Collaborative Agents. In: 2nd International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, pp. 22-24 (1999)
7. V. Julian and V. Botti: Developing real-time multi-agent systems. Integrated Computer-Aided Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 135-149 (2004)

8. J. H. Taylor and A. F. Sayda: Intelligent Information, Monitoring, and Control Technology of Industrial Process Applications. In: 15th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (2005)
9. C. R. Durán Fernández: Control Distribuido Auto-organizado para un Sistema Flexible de Manufactura. Universidad del Bío-Bío (2005)
10. L. Bunch et al.: Software agents for process monitoring and notification. In: Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied Computing - SAC'04, pp. 94-99 (2004)
11. M. Pechoucek and V. Marik: Industrial deployment of multi-agent technologies: review and selected case studies. *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 297-431 (2008)
12. M. Cerrada, J. Aguilar, J. Cardillo, and R. Faneite: Agent-based design for fault management system in industrial processes. *Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, vol. 29, no. 3, pp. 258-268 (2006)
13. P. Leitão and F. Restivo: A Framework for Distributed Manufacturing Applications. In: *Advanced Summer Institute Life Cycle Approaches to Production Systems: Management, Control and Supervision*, pp. 75-80 (2000)
14. R. M. Lima, R. M. Sousa, and P. J. Martins: Distributed production planning and control agent-based system. *International Journal of Production Research*, vol. 44, no. 18-19, pp. 3693-3709 (2006)
15. V. Marik and D. McFarlane: Industrial Adoption of Agent-Based Technologies. *IEEE Intelligent Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 27-35 (2005)
16. M. De Antonio Gómez: Control de un Extrusor de Perfiles de ETP. (2004)
17. Avanced Elastomer Systems, *Boletín General: El Caucho vulcanizado que se procesa como termoplástico*. (2002)