

**MULTIAGENT SYSTEMS APPLIED TO THE DISTRIBUTED SUPERVISION
OF OIL PROCESS****SISTEMAS MULTIA GENTES APLICADOS A LA SUPERVISION
DISTRIBUIDA DE PROCESOS DE PETROLEOS****MSc. Miguel Ramírez****PDVSA, Venezuela.**

E-mails: ramirezmb@pdvsa.com

Abstract: This paper presents a methodology for the design of an intelligent supervisory system that combines the principles of fuzzy logic, the Internal Model Control (IMC) architecture and the paradigm of Multi-Agent Systems (MAS). The methodology has been conceived to be applied in an intelligent supervisory system, specifically for two kinds of complex petroleum industrial processes: the gas-oil separation process and the oil-heating process. The supervision proposal takes into account the fact of using standard local supervisors schemes connected between themselves and to a global supervisor so that local objectives in each process can be met, thereby letting the global or social objective be obtained through the application of basic mechanism of communication and cooperation; where these objectives have been previously defined and structured in a hierarchical manner. The paper includes some computational simulations performed under MATLAB / SIMULINK and the results obtained show a good overall system performance.

Keywords: Multiagent Systems, cooperation, fuzzy logic, Internal Model Control.

Resumen: Este trabajo presenta una metodología de diseño de control supervisorio inteligente que combina los fundamentos de la lógica difusa, la arquitectura CMI (Control por modelo interno) y el paradigma de sistemas multiagentes (SMA). La metodología ha sido concebida para la implementación de un sistema supervisorio inteligente en dos procesos industriales de alta complejidad: el proceso de separación de crudo y el proceso de calentamiento de crudo. La propuesta de supervisión parte del hecho de usar esquemas de supervisores locales estándares, interconectados entre sí y conectados a un sistema supervisorio global; de tal manera que a través de la aplicación de mecanismos básicos de comunicación y cooperación se alcancen los objetivos locales en cada proceso; y que permita a su vez alcanzar el objetivo global o social de los agentes; objetivos que han sido previamente definidos y jerarquizados. El trabajo contempla simulaciones computacionales hechas en MATLAB / SIMULINK y los resultados obtenidos demuestran la importancia y la versatilidad de la aplicación de la metodología propuesta.

Palabras clave: Multiagentes, cooperación, lógica Fuzzy, modelo de control interno.

1. INTRODUCCION

La supervisión inteligente de procesos industriales es un área de intensos estudios de investigación y se han usado múltiples enfoques basados en técnicas de inteligencia artificial; que por lo

general conllevan a un esquema resultante basado en un sistema híbrido.

La supervisión inteligente está basada en la evaluación global del punto actual de operación del proceso (Lunze, 1999); y permite caracterizar la

evolución temporal de los parámetros de un sistema, dentro de la perspectiva de proveer diagnóstico y/o de anticipar posibles cambios no deseados en el estado de operación en un determinado proceso a través del ajuste de parámetros escalares de controladores o de cambios en la consigna de operación.

De entre la amplia variedad de esquemas de supervisión inteligentes propuestos en varias publicaciones, como por ejemplo en (Altamiranda *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2002), se pueden determinar tres elementos fundamentales: el detector de eventos, el modelo del proceso y el sistema de toma de decisión. El detector de eventos puede ser realizado de múltiples maneras, en particular, las técnicas más usadas han sido basadas en la lógica difusa y las redes neuronales; y buscan en esencia la posible clasificación de los estados de operación de un determinado proceso. Para determinar el modelo de un proceso existen múltiples alternativas como los modelos cualitativos, ampliamente recomendados en esquemas de supervisión o modelos no lineales basados en modelos locales del tipo Takagi-Sugeno (Ramírez and Colina, 2008a). Más aún, existe una alternativa denominada modelado multiresolucional, la cual, integra un modelo matemático, un modelo basado en conocimiento y un modelo cualitativo (Lunze, 1999). Finalmente, el sistema de toma de decisión, en base a una serie de objetivos y prioridades del proceso, ejecuta ciertas acciones sobre el proceso y/o sobre los controladores que se traducen en cambios en el punto de consigna o cambios de parámetros escalares de controladores.

Es importante destacar que dentro de una perspectiva general, la supervisión de procesos suele implicar las siguientes operaciones: i) detección de desviación de los parámetros de la planta, ii) sintonización, adaptación y síntesis de controladores y iii) identificación y diagnóstico de fallas de un proceso (Quek, 1996).

El artículo está organizado de la siguiente forma: el punto 2 presenta el fundamento de los sistemas multiagentes. El punto 3 presenta la propuesta formal del esquema de supervisión basado en sistemas multiagentes, el punto 4 describe la aplicación de la propuesta a los procesos mencionados y muestra ciertos detalles de las implementaciones computacionales en MATLAB/SIMULINK y finalmente el punto 5 contempla las conclusiones.

2. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTES

Para diseñar un sistema de supervisión inteligente bajo la concepción de sistemas multiagentes se requiere definir los siguientes aspectos:

- La definición de una plataforma distribuida, normalmente determinada por el sistema a supervisar.
- La identificación del tipo de inteligencia que debe estar presente.
- El desarrollo de un protocolo de comunicación, coordinación y cooperación entre los diversos módulos inteligentes.

Los fundamentos básicos de los agentes inteligentes permiten responder a las dificultades mencionadas. En particular, el área de control de procesos es una aplicación natural para los agentes inteligentes y sistemas multiagentes debido a que los controladores pueden ser considerados por sí solos sistemas reactivos autónomos (Jennings, 1999).

Se pueden encontrar propuestas en la literatura de un gran número de definiciones de agente, y una de las más sencillas y aceptada ha sido la de Russell (Russell and Norvig, 1995) que considera un agente como una entidad que percibe y actúa en un entorno tal y como se aprecia en la figura 1. Basado en esta definición, se pueden caracterizar distintos agentes de acuerdo a los atributos que poseen para resolver un determinado problema. Así, se puede hablar de agente social, agente adaptativo, entre otros (Botti *et al.*, 1995). También es posible encontrar otras definiciones de agente que lo que hacen es restringir la amplitud de esta primera definición exigiendo a un agente que cumpla algunos de esos atributos en su definición básica (Julian and Botti, 2000).

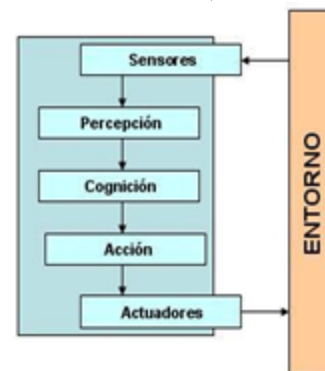


Fig. 1. Esquema Genérico de un agente según Russell.

De esta forma en (Woolridge *et al.*, 1995) se incluye el atributo de autonomía dentro de la definición básica de agente, en donde se define a éste como un sistema situado dentro de un entorno y formando parte del mismo que percibe y actúa, a través del tiempo, sobre ese entorno llevando a cabo su propia agenda, permitiéndole actuar sobre lo que percibirá en su futuro. Una de las definiciones más aceptadas hoy en día es la propuesta en (Woolridge *et al.*, 1995), según la cual, un agente es un sistema computacional capaz de una acción autónoma y flexible en un determinado entorno, entendiendo por flexible que sea:

- *Reactivo*: que responda al entorno en que se encuentra en base a las percepciones que recibe del mismo.
- *Proactivo*: que sea capaz de intentar cumplir sus propios objetivos o planes.
- *Social*: que sea capaz de comunicarse con otros agentes mediante algún tipo de lenguaje.

La comunicación, cooperación y coordinación son tres elementos claves en los sistemas multiagentes (SMA). En los sistemas basados en agentes, la comunicación abarca niveles que van desde la comunicación primitiva hasta la comunicación de alto nivel. En realidad, los SMA deben disponer de una infraestructura asociada que les permita operar de forma efectiva, así como interactuar productivamente entre ellos. Esta infraestructura incluye aspectos relacionados con los procesos de comunicación y que en esencia se traduce en el envío y recepción de mensajes por medio de un lenguaje de comunicación determinado; así como disponer de protocolos de interacción que les permitan conversar a un alto nivel de abstracción (Iglesias, 1998).

3. PROPUESTA DE SUPERVISION MODIFICADA

Para dar a conocer la propuesta de supervisión basada en SMA se partirá del esquema general en donde se muestran los agentes: el supervisor global y los supervisores locales conectados entre sí. Se asume que los supervisores locales se agrupan dependiendo del tipo de proceso. La figura 2, muestra el esquema propuesto.

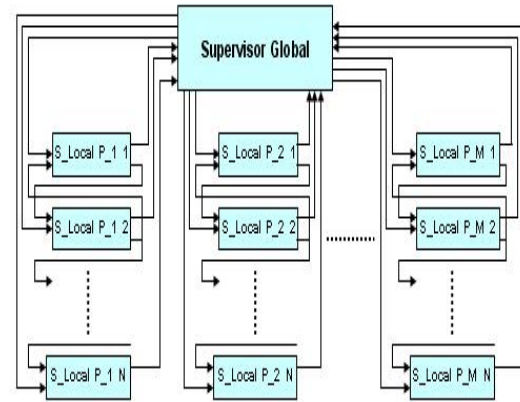


Fig. 2. Esquema de Supervisión basado en SMA para procesos industriales complejos

Como se puede apreciar en la figura 2, se tienen M clase de procesos identificados como P_1, P_2, \dots, P_M en donde por cada clase M de proceso existen N procesos similares. En cada clase de proceso M , hay N supervisores locales cada uno de ellos interconectados entre sí. Por ejemplo, los supervisores locales identificados como $S_Local P_1 1$ y $S_Local P_1 2$ pertenecen a la clase de proceso 1 y se encuentran conectados entre sí.

Todos los procesos están gobernados por sus respectivos supervisores locales y a su vez están conectados al supervisor global. El esquema de la figura 2 parte del hecho de que la salida de cada proceso correspondiente a la clase 1 es la entrada de al menos uno de los N procesos correspondientes a la clase 2.

La figura 3, muestra el diagrama particular de los procesos a los cuales se le implementará el esquema de supervisión basado en SMA de la figura 2. Como se puede observar en la figura 3, la salida de crudo de los procesos asociados a los separadores 5 y 6 de la clase de proceso 1 (proceso de separación de crudo) se conecta a la entrada común de los hornos 5 y 6 que corresponde a la clase 2 (proceso de calentamiento de crudo). Sin embargo, dependiendo de las dimensiones físicas y de las especificaciones de funcionamiento de un horno es posible que la salida de crudo de cada separador esté conectada a un sólo horno.

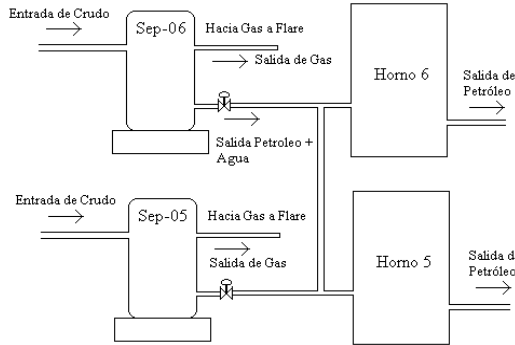


Fig. 3. Diagrama esquemático de los procesos de separación y calentamiento de crudo

3.1 Diseño del agente supervisor local

Tomando en consideración la arquitectura ICM (control por modelo interno) empleada en (Ramírez and Colina, 2008b; Ramírez y Colina, 2009c) en base a los criterios establecidos en (Ramírez and Colina., 2008a) para la determinación de los modelos difusos, se propone el siguiente esquema para la supervisión local en cada proceso.

Como se puede apreciar en la figura 4, el nivel regulatorio está conformado por una arquitectura CMI (control por modelo interno) conformado por los siguientes elementos: i) el modelo difuso unitario de la planta determinado en base a datos de entrada-salida a través del uso de un determinado algoritmo de agrupamiento difuso; ii) la inversa del modelo difuso que es usada como controlador; iii) el filtro F que actúa como integrador y brinda robustez al sistema de control retroalimentado ante la presencia de perturbaciones; iv) la planta que se desea controlar que para propósitos de simulaciones computacionales se usará un modelo matemático linealizado alrededor de un punto de operación previamente establecido.

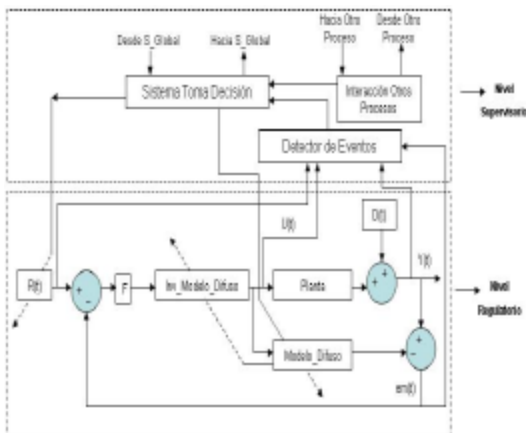


Fig. 4. Diagrama esquemático de los procesos de separación y calentamiento de crudo

El detector de eventos está basado en un modelo lingüístico de tipo Mamdani para sistemas de múltiples entradas y una salida. Una regla general para este tipo de modelos viene dada por:

$$R^{(k)} : \text{If } x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and...and } x_n \text{ is } A_n^k \text{ Then } y \text{ is } G^k \quad (1)$$

En donde $R^{(k)}$ denota la k -ésima regla, A_i^k y G^k son conjuntos difusos en $U_i \subset \mathfrak{R}$ y $V \subset \mathfrak{R}$, respectivamente, “y” es la salida; mientras que $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ es el vector de variables de entrada. Para el caso particular del detector de eventos propuesto se han seleccionado dos entradas: el error de modelamiento y la derivada de la salida ($dy(t)/dt$). La combinación de estas entradas es considerada como la indicación más adecuada para caracterizar los eventos del proceso tanto de separación como de calentamiento de crudo.

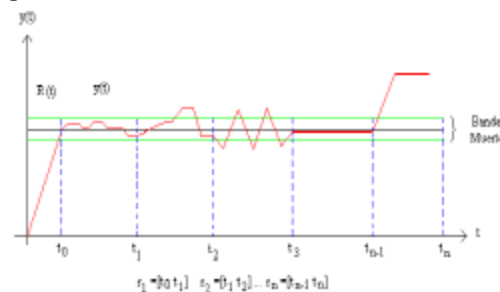


Fig. 5. Ventana de tiempo del detector de eventos

En realidad, se tomará una muestra de valores del error de modelamiento y de la derivada de la salida y se calcula el promedio de las muestras en cada uno de las ventanas de tiempo r_1, r_2, \dots, r_n

La figura 5 ilustra esta idea. Por ende las variables de entrada son el error de modelamiento (em_p) promedio y la derivada promedio de la salida para cada ventana de tiempo.

Los posibles eventos en función a la variación del vector de entradas son los siguientes: condición normal, pequeño incremento del punto de operación, incremento significativo del punto de operación, decremento del punto de operación, decremento significativo del punto de operación, falla? (producto de un muy alto incremento del punto de operación) y falla? (producto de un casi nulo punto de operación).

Los conjuntos difusos asociados a las variables de entrada y salida se muestran en la fig. 6.

La base de reglas (con sus pesos) resultante para la clasificación de eventos se muestra a continuación:

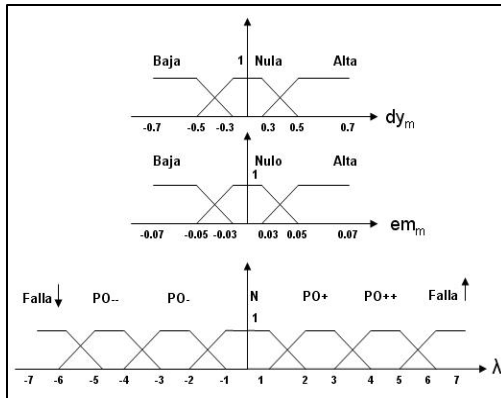


Fig. 6. Conjuntos difusos de las variables de entrada y salida del detector de eventos

- R1 ($p_1 = 1$): Si dy_p es *Nulo* y em_p es *Nulo* Entonces el proceso está en *condición normal*.
- R2 ($p_2 = 0.5$): Si dy_p es *Nulo* y em_p es *Alto* Entonces el proceso tiene un *pequeño incremento del punto de operación*.
- R3 ($p_3 = 0.5$): Si dy_p es *Nulo* y em_p es *Bajo* Entonces el proceso tiene un *pequeño incremento del punto de operación*.
- R4 ($p_4 = 1$): Si dy_p es *Alta* y em_p es *Nulo* Entonces el proceso tiene un *pequeño incremento del punto de operación*.
- R5 ($p_5 = 1$): Si dy_p es *Alta* y em_p es *Alto* Entonces el proceso tiene un *significativo incremento del punto de operación*.
- R6 ($p_6 = 1$): Si dy_p es *Alta* y em_p es *Bajo* Entonces el proceso está en *falla ?*.
- R7 ($p_7 = 1$): Si dy_p es *Baja* y em_p es *Nulo* Entonces el proceso tiene un *significativo decremento del punto de operación*.
- R8 ($p_8 = 1$): Si dy_p es *Baja* y em_p es *Bajo* Entonces el proceso tiene un *pequeño decremento del punto de operación*.
- R9 ($p_9 = 1$): Si dy_p es *Baja* y em_p es *Alto* Entonces el proceso está en *falla ?*.

Finalmente, el agente sistema de toma de decisión determina la decisión más apropiada en base a la salida del detector de eventos y al estado de operación de todos los procesos similares. Para ello se propuso un sistema experto con las siguientes reglas de genéricas:

- R1: Si el proceso local está en *condición_normal* y algún proceso tiene algún cambio en el punto de operación Entonces levantar bandera de disponibilidad para cooperar y notificar al supervisor global.
- R2: Si el proceso local tiene algún cambio en el punto de operación y hay al menos un proceso remoto que está en *condición_normal* Entonces tomar acción correctiva, levantar bandera de solicitud de cooperación y notificar al supervisor global.
- R3: Si el proceso local está en *condición_normal* y todos los procesos remotos están en *condición_normal* Entonces notificar al supervisor global.
- R4: Si el proceso local está en *condición_falla* Entonces notificar al supervisor global

Es importante aclarar que con respecto a la regla 1, la definición de las acciones de cooperación será establecida por el supervisor global. Esta regla, de ser cierta, solo indica que el supervisor local del proceso en cuestión está dispuesto a colaborar dado que su proceso se encuentra en condición normal. La colaboración trata sobre el cambio en la consigna de operación.

Con respecto a la regla 2, las acciones que se definieron son: ajuste del modelo difuso y por ende ajuste de los consecuentes singleton del controlador difuso (con la finalidad de disminuir el error de estado estático), cambio en la consigna de operación y declaración de falla. La falla puede ser por un incremento drástico del punto de operación que conlleve a sobrepasar los límites de funcionamiento de la planta o un decremento drástico del punto de operación que detenga el funcionamiento del controlador del proceso (por ejemplo que el flujo de entrada de crudo al separador tienda a cero). El cambio en la consigna obedece a una acción de cooperación para tratar de garantizar algún objetivo global previamente definido.

El elemento "Interacción con otros procesos" envía el estado del proceso local a otros procesos similares y recibe el estado de otros procesos similares. Ahora bien, el sistema de toma de decisión en base al estado del proceso local y los procesos remotos similares debe decidir si toma una acción local o si la acción debe tener carácter cooperativo.

3.2 Diseño del agente supervisor global

El agente supervisor global se encarga de establecer los mecanismos de coordinación para garantizar el cumplimiento del objetivo global del proceso. En lo que a procesos industriales complejos se refiere, el objetivo global debe estar enmarcado en lo siguiente: obtener un producto con la mejor calidad posible que esté dentro del rango permitido de una variable de referencia. Para ser más específicos, en el caso de procesos de petróleo, se requiere que el crudo por ejemplo a la salida de los hornos esté a una temperatura entre 178 y 188 grados Fahrenheit. Para ello se hace uso del principio de la conservación de la energía (cuando sea posible), para realizar los cambios de consignas y garantizar que las salidas de todos los procesos de una determinada clase no sobrepase el límite máximo permitido de operación de la entrada los procesos de la siguiente clase.

Si no es posible lograr esto (debido a incrementos significativos del punto de operación en algunos separadores) se opta por cambiar la consigna de operación en cada uno de los procesos de calentamiento. Para lograr realizar el agente supervisor global se planteo el algoritmo que se muestra en la figura 7.

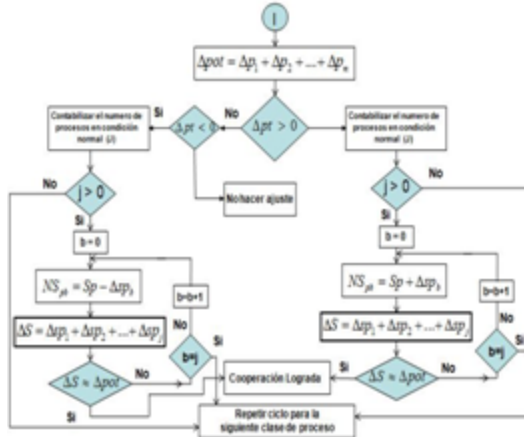


Fig. 7. Algoritmo base del agente supervisor global

En donde Δpot es la variación total de todos los puntos de operación de los N procesos asociados a una clase de proceso. Se asume que j es la cantidad de procesos que están en condición normal. El supervisor global intentará mantener las variables del proceso dentro de los rangos de operación permitidos.

En esencia hemos definido un conjunto de objetivos jerarquizados tal y como se ha planteado en (Jennings, 1994). Estos objetivos se pueden sintetizar como de la siguiente forma :

- Objetivos globales: rigen la conducta de todo el SMA. En este caso, para la propuesta que hemos planteado el objetivo global de todos los agentes es lograr que el crudo a la salida de los hornos esté en un rango comprendido entre 178 y 188 grados Fahrenheit.
- Objetivos compartidos: rigen la conducta de un grupo de agentes. En este caso, los agentes supervisores locales por cada clase de proceso deben coordinarse para mantener un flujo de crudo resultante aproximadamente constante.
- Objetivos individuales: rige la conducta de un agente en particular. En este caso cada supervisor local debe detectar desviaciones en el punto de operación y corregirla si es posible; en caso contrario debe declarar el proceso en estado de falla.

4. SIMULACIONES REALIZADAS

La implementación del esquema de supervisión inteligente se hizo en MATLAB / SIMULINK usando bloques de funciones S que son configurables en lenguaje .m (del mismo entorno del MATLAB) o en lenguaje C. Las funciones S permiten incorporar algoritmos personalizados dentro del ambiente de SIMULINK facilitando la creación de esquemas de simulación de alta complejidad.

Adicionalmente se configuró una interfaz gráfica usando GUIDE que es un entorno de programación visual disponible en MATLAB usado para el continuo ingreso de datos. Para nuestro caso particular, la intención de usar GUIDE fue con el propósito de interactuar con el archivo de SIMULINK (contiene el esquema de supervisión basado en SMA) de una manera más fácil.

Para probar el esquema de supervisión propuesto se definió el siguiente escenario: En el proceso de separación 2 se introdujo un cambio del punto de operación con respecto al flujo de entrada de crudo al separador 2 en $t = 60$ segundos. En $t = 190$ segundos se introduce otro cambio de operación con respecto al flujo de entrada del separador 1. En los procesos de calentamiento no se introdujeron cambios en los puntos de operación.

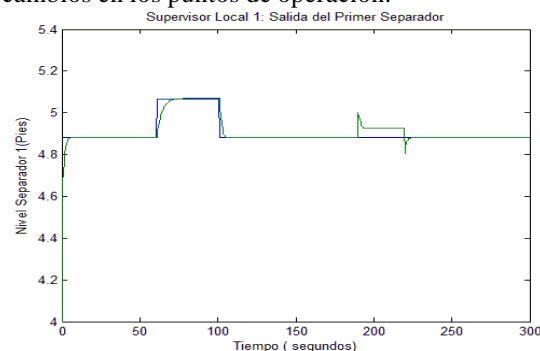


Fig. 8. Nivel Separador de producción 1

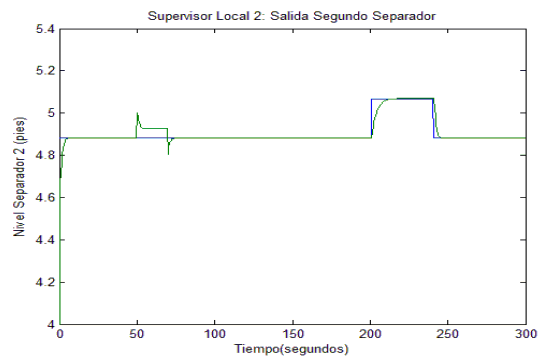


Fig.9. Nivel Separador de producción 2

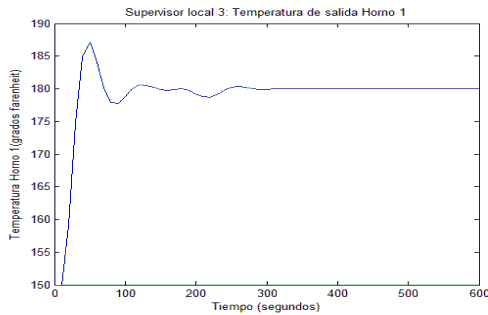


Fig. 10. Temperatura Salida Horno 1

Como se puede observar en la figura 8, aproximadamente un poco más allá de $t = 60$ segundos el agente supervisor local 1 envía un cambio en la señal de referencia dado que recibe del agente supervisor local 2 una señal de que existe un cambio en el punto de operación en $t = 60$ segundos. Este cambio se refleja en la figura 9. Análogamente, en $t = 190$ segundos, el agente supervisor local 1 detecta un cambio en el punto de operación y cuya notificación es enviada al sistema supervisor local 2 quien efectúa un cambio en la señal de referencia en el sistema regulatorio del proceso de separación respectivo (figura 9).

Ahora bien, como se puede apreciar en la figura 10 la temperatura de salida del horno 1 (el mismo comportamiento ocurre con el horno 2) en $t = 200$ segundos aproximadamente experimenta un ligero decremento producto del ligero aumento del flujo de salida en el primer separador. La siguiente figura muestra un resultado bien interesante y está relacionado con el comportamiento de la temperatura de salida de crudo del horno 1 bajo el mismo escenario definido anteriormente pero sin comunicación entre los agentes locales. Como se puede apreciar en la figura 11, la temperatura de salida de crudo presenta una oscilación más pronunciada que la gráfica 8 lo que corrobora de esta manera la importancia de interconectar los agentes para que de esta forma se garantice el objetivo global del proceso.

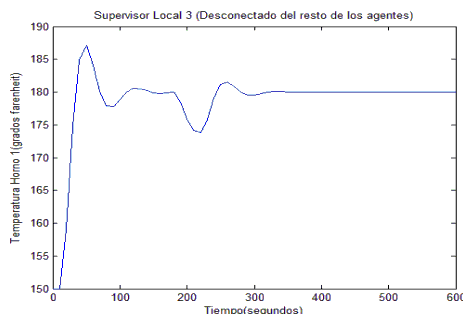


Fig. 11 Temperatura Salida Horno 1 con los agentes trabajando de manera aislada

5. CONCLUSIONES

En esta publicación, se ha propuesto un esquema basado en el paradigma de SMA para la supervisión inteligente de procesos de petróleos con múltiples lazos de control, la cual, puede ser aplicada a cualquier proceso industrial en general.

Es importante destacar que el uso de la arquitectura ICM representa una alternativa interesante para las tareas de supervisión.

Las simulaciones computacionales fueron desarrolladas en MATLAB / SIMULINK a través del uso de funciones S. Esta es una contribución muy importante de esta publicación ya que existen muchas plataformas para trabajar con sistemas multiagentes pero pocos esfuerzos se han hecho con el MATLAB.

Finalmente, los resultados de las simulaciones demuestran que a través de la cooperación entre los agentes supervisores locales se puede lograr el objetivo global del proceso.

REFERENCIAS

- Ramírez, M., Dávila, J. and Colina E. (2009) "Intelligent Supervision of Petroleum Processes based on Multi-Agent Systems" WSEAS Transactions On Systems and Control. Issue 9, Volume 4.
- Lunze J. (2000). "Process Supervision By Means of Qualitative Models". Technische Universität Hamburg-Harburg, Germany.
- Altamiranda, E., Colina E., Chacon, E. (2002). "Intelligent supervisory systems for industrial process control". Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas IIDTA, Universidad de Pamplona, Colombia, pp. 1-4.
- Ortega, C., Colina E., Chacon, E. (2007). "Intelligent supervisory control designs framework for fault exposed processes". WSEAS, International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, Cambridge University, USA, pp. 1-4.
- Rodriguez J., Romagnoli J., and Goodwin G. (2003). "Supervisory multiple regime control". Centre for process systems engineering department of chemical engineering, Sydney University, Australia.
- Quek C. (1996) "Fuzzy Integrated Process Supervision". Intelligent systems laboratory,

- School of applied science, Nanyang Technological University, Singapore, Australia.
- Ramírez, M. and Colina E. (2008) "Fuzzy clustering based models applied to petroleum processes". WSEAS Transactions on Systems and Control, Issue 3, Volume 3.
- Ramírez, M. and Colina E. (2008) "Fuzzy model based control: Application to an oil production separator", IEEE on Hybrid Intelligent System, Barcelona, Spain.
- Ramírez, M. y Colina E. (2008) "Control basado en modelos Difusos aplicados a procesos industriales complejos". XIII Congreso Latinoamericano de Control Automático, Mérida, Venezuela.
- Jennings, N. (1999) "Using GRATE to build cooperating agents for industrial control". Department Electronic Engineering, Queen Mary and Westfield College, England.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995) "Artificial Intelligence: a modern approach". Prentice Hall International Editions.
- Botti, V., Barber, F., and Crespo, A. (1998) "Towards a temporal coherence management in real time knowledge-based system". Data and Knowledge Engineering, Volume 25, pp. 247-266.
- Julián, V. and Botti, V. (2000) "Agentes inteligentes: el siguiente paso de la inteligencia artificial". Novática, Volumen 145, pp. 2120-2124.
- Woolridge, M. and Jennings, N. (1995) "Intelligent agents: Theory and practice". The knowledge engineering review, Issue 10, Volume 2: pp. 115-152.
- Fenster, M., Kraus, S. and Rosenschein, J.S. (1995) "Coordination without communication: Experimental Validation of Focal Point Techniques". In proceedings of the first international conference on multi-agents systems, San Francisco, CA, AAAI Pres/The MIT Press, pp. 102-108.
- Finin, T., Fritzson, R., McKay, D., and McEntire, R. (1994) "KQML as an agent communication language". In the third proceedings On Information and Knowledge Management.
- Genesereth, M. and Fikes, R. "Knowledge interchange format, version 3.0 reference manual" Technical report logic- 92-1, Computer Science Department, Stanford University.
- Doran, J., Franklin, F., Jennings, N., and Norman, T. (1998) "On cooperation in Multiagent Systems". Knowledge engineering review, 12(3): 309-314.
- Iglesias, C. (1998) "Desarrollo de una metodología para el desarrollo de sistemas Multiagentes". Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Bratman, M., Israel, D., and Pollack, M. (1997) "Toward an architecture for resource-bounded agents". Technical report CSLI-87-104, Center for the study of language and informations, SRI and Stanford University.
- Jennings, N. (1994) "Cooperation in industrial Multi-Agent Systems", Department of Electronic Engineering Queen Mary and Westfield College, University of London.