

**SYSTEMS INTEGRATION IN PRODUCTION ENVIRONMENTS: STATE OF
THE ART AND A NEW PROPOSAL.****INTEGRACIÓN DE SISTEMAS EN AMBIENTES DE PRODUCCIÓN:
ESTADO DEL ARTE Y PROPUESTA DE UN ENFOQUE..**

PhD. Edgar Chacón Ramírez, PhD. Eliezer Colina Morles

Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas IIDTA
Universidad de Pamplona, Pamplona Norte de Santander Colombia
{echacon, ecolina}@unipamplona.edu.co

Abstract: The suitable management of a complex system of continuous production implies the optimal handling of useful information; from the regulatory level, where control actions are executed on the physical plant; until the levels of corporative planning where decisions are taken that affect the global performance of the system. This information that affects of direct way the handling of operations of production, it flows throughout the company, considering certain functions outside the direct scope of the production, and that it has to do with the handling of the raw material (acquisition, search of the best suppliers), the market and the clients. Finally, a flow of information or knowledge also exists, that it has to do with the development of new products with the possibility of modifying the production schemes. This work presents/displays a compendium of methodological approaches, which serve as framework for automated systems.

Resumen: La gestión adecuada de un sistema complejo de producción continua implica el manejo óptimo de información útil; desde el nivel regulatorio, donde se ejecutan acciones de control sobre la planta física; hasta los niveles de planificación corporativa donde se toman decisiones que afectan el desempeño global del sistema. Esta información que afecta de manera directa el manejo de operaciones de producción, fluye a lo largo de la empresa, considerando ciertas funciones fuera del ámbito directo de la producción, y que tiene que ver con el manejo de los insumos (adquisición, búsqueda de los mejores proveedores), el mercado y los clientes. Finalmente, existe también un flujo de información o conocimiento, que tiene que ver con el desarrollo de nuevos productos con la posibilidad de modificar los esquemas de producción. Este trabajo presenta un compendio de enfoques metodológicos, que sirven de marco de diseño de sistemas automatizados.

Keywords: Hybrid Systems, Supervisory Systems, Integrated Automation.

1. INTRODUCCIÓN: EL MANEJO DE LA
COMPLEJIDAD

El problema fundamental de la Integración de

Sistemas en el campo de la automatización ha sido enfocado de distintas maneras, en un intento de establecer modelos conceptuales que guíen su implantación física. Los problemas a abordar tienen que ver con la cooperación entre distintas unidades del sistema, que deben trabajar coordinadamente, y dentro de una unidad, en como se transfieren los datos representativos del estado de un proceso, y en como se envía la información de control.

1.1 La complejidad en la dinámica de los sistemas: La necesidad de jerarquías.

En el siglo pasado a partir de los años 70, la solución al problema de la complejidad ya había sido abordada desde el punto de vista de organizaciones jerárquicas. (Mesarovic, *et al*, 1970) Titli, Singh y otros (Singh *et al*. 1978) propusieron el manejo de los sistemas desde un enfoque de control jerárquico; que se muestra en la figura 1. Este enfoque estaba basado en la construcción de modelos que permitían describir el comportamiento de los sistemas de manera global y establecían una jerarquía de control que servía para la identificación y modelado de sistemas. Pero a finales de los 70, varios de los autores del enfoque jerárquico justificaban sus limitaciones prácticas en términos de las limitaciones tecnológicas existentes en ese entonces.

El enfoque de organizaciones jerárquicas concebía una descomposición vertical del sistema, donde se tomaban en cuenta los aspectos dinámicos asociados a la estructura de control modelándolos como Sistemas Dinámicos de Variables continuas, con una estructura del tipo:

$$\Phi : X \times U \times \Delta \rightarrow X \quad (1)$$

Donde :

$X \in R^n$ es el espacio de estados

$U \in R^m$ es el espacio de control, y

$\Delta \in R$ es el espacio de las perturbaciones

Estos sistemas son conocidos como Sistemas Dinámicos de Variables Continuas. (SDVC)

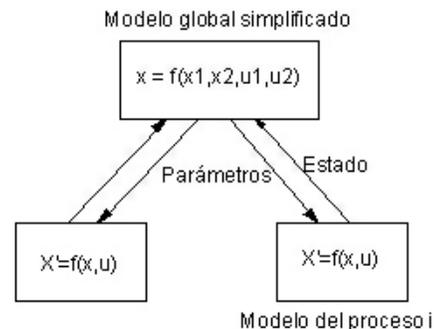


Fig. 1. Control Jerárquico.

Posteriormente, a finales de la década de los 80, un enfoque jerárquico asociado a los Sistemas a Eventos Discretos fue propuesto por Wonham y Ramadge. Este enfoque es conocido como Control Supervisorio y estaba centrado en la descripción del proceso como un Sistema Dinámico a Eventos Discretos (SDED). Según los trabajos de Ramadge y Wonham (Ramadge y Wonham, 1987, 1989), la evolución del sistema era definida por la aparición de un conjunto de eventos que podían ser controlables o no controlables, cuyo comportamiento se puede describir mediante:

$$\Phi_D : X_D \times \Sigma \rightarrow X_D \quad (2)$$

Donde:

X_D es el conjunto de estados discretos del sistema, mientras que el conjunto de eventos Σ , conformado por eventos controlables Σ_c y no controlables Σ_{nc} . El sentido controlabilidad significa que la aparición de los mismos puede ser habilitados o eventualmente impulsados por un actor externo al sistema, mientras que los no controlables son espontáneos en el sistema. Los eventos cumplen: $\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_{nc}$, y $\Sigma_c \cap \Sigma_{nc} = \emptyset$, con \emptyset simbolizando el conjunto vacío.

En la década de los 90 empiezan a aparecer publicaciones donde se reporta un enfoque para abordar el problema de la integración inspirado en las nociones de los Sistemas a Eventos Discretos y de los Sistemas Híbridos, que facilitan el manejo de la complejidad en una jerarquía definiendo jerarquía de dinámicas en el sistema complejo.

Entre estas publicaciones se encuentran: trabajos para el control de procesos químicos, (Krogh, 1993, Engell, *et al*, 1997); aplicaciones en robótica en (Antsaklis, *et al*, 1993, Passino, *et al*, 1989); manejo de sistemas de transporte del grupo de Sastry, Pappas, Varaya, Lygeros, (Tomlin, *et al*, 1996, Deshpande, *et al*, 1997, Lygeros,) y las estrategias de implantación de sistemas de control híbrido propuestas por el grupo Tittus (Tittus, *et al*, 1994a, 1994b, 1995) entre otros. También vale la pena mencionar los trabajos de Morari y Bemporad que presentan un enfoque basado en control predictivo y lógica para el manejo de procesos (Bemporad *et al*, 1999a, 1999b, 2000). Todos estos autores proponen a los sistemas híbridos como una salida para poder solucionar el manejo de la complejidad en una jerarquía que maneja simultáneamente dinámicas continuas y discretas.

1.2 Múltiples objetos que conforman el sistema.

La siguiente dificultad en el manejo de la complejidad, está dada por las distintas dinámicas asociadas a los distintos componentes del sistema productivo. El enfoque más novedoso en el control de sistemas de manufactura, está dado por el enfoque **Holónico** (Wyns, *et al*, 1996, Brussel *et al*, 1998, Wyns, 1999, University of Hanover, 2000). Este enfoque puede ser extendido a los sistemas de producción continua. En este caso, diferentes componentes presentan dinámicas distintas, pero el sistema como un todo, debe funcionar de manera coherente.

Un **Holón** es un sistema que permite la jerarquía al ser considerado como un elemento autónomo, con capacidad de decisión, conformado por un conjunto de componentes:

- **Orden – Producto** que describe el objetivo de producción.
- **Recursos.** Describen el estado de todos los componentes necesarios para obtener el producto objetivo de producción.
- **Métodos.** Es la descripción desde el punto de vista de ingeniería del proceso de producción. El método indica como se obtiene un producto con los recursos disponibles.

El holón tiene la autonomía para tomar las decisiones de seleccionar el método de producción,

en base al conocimiento que tiene del estado de sus recursos, priorizando y optimizando el método de producción para cumplir con el objetivo de producción. Un holón es a su vez parte de un sistema con objetivos más generales, por ejemplo, una planta es parte de un complejo de producción, el cual a su vez es parte de una empresa. Planta, Complejo y Empresa son Unidades de Producción.

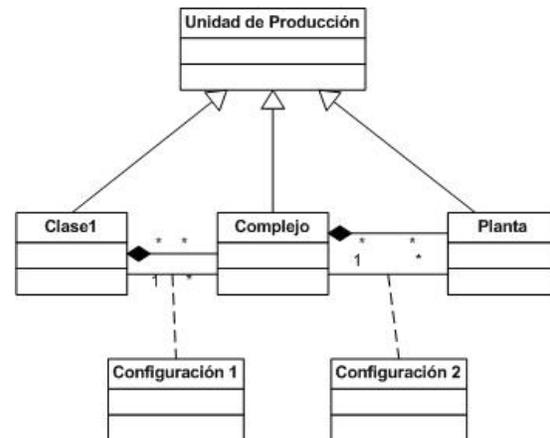


Fig. 2. Estructura de un sistema de producción holónico.

La evolución global del sistema resulta de la composición de las dinámicas discretas de cada uno de los distintos componentes del sistema. Este enfoque permite también el manejo de la jerarquía, mediante la coordinación de los distintos sistemas.

1.3 Arquitecturas de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC).

La evolución tecnológica de los sistemas de automatización ha tenido por su parte un desarrollo que depende del desarrollo de las tecnologías de información y telecomunicaciones. Tres enfoques han sido utilizados desde sus inicios:

- **Aislado.** Cada planta es controlada de manera independiente. Este enfoque fue el primeramente utilizado, pero tenía la dificultad de la coordinación de los distintos elementos. Este tipo de sistemas resulta de la evolución de los controladores neumáticos y electrónicos hasta los controladores de lazos independientes.
- **Centralizado.** Existe un único elemento de control, que captura la información de todo el

proceso y asegura su control. La complejidad del sistema es manejada por una jerarquía de lazos de una variable. La coordinación del sistema se ve facilitada al mantenerse la información en un solo sitio. La principal desventaja es que la falla del equipo, implica la pérdida total del control del sistema. Para aumentar la confiabilidad de estos sistemas aparecen los DCS, que no son más que una distribución de las labores de control de los distintos lazos sobre un conjunto de controladores conectados en un solo sitio. La comunicación entre los distintos controladores se logra mediante una red de área local.

- **Sistemas descentralizados.** Los sistemas descentralizados presentan una arquitectura de tres niveles. Un primer nivel encargado del control directo del proceso, un segundo nivel responsable de la conexión del equipo central con los sitios de control directo y la coordinación de las actividades, y un tercer nivel de optimización. La principal tecnología utilizada es la SCADA.

Este conjunto de tecnologías utiliza el desarrollo de las tecnologías de información y telecomunicaciones, haciendo posible que los sistemas aislados se transformen en sistemas descentralizados con solo agregar un sistema de comunicaciones, que permita llevar información de parametrización hasta cada sitio y obtener el estado del sitio, o que un sistema centralizado, supervise además un conjunto de elementos aislados, o que un lugar centralizado forme parte de un sistema descentralizado. La tecnología de comunicación, garantiza la transferencia de información bidireccional de manera segura, haciendo transparente la funcionalidad de cualquier arquitectura. La tecnología de información, garantiza la implantación de sistemas de almacenamiento de la información del proceso productivo y garantiza su disponibilidad a cualquier aplicación que tenga necesidad de la misma.

La principal dificultad en el proceso de automatización integrada se encuentra en la dificultad de obtener modelos del proceso que permitan describirlo de manera completa, con el fin de prestar la información para todas las aplicaciones posibles. Este trabajo describe una aproximación a la tarea de modelar de manera

integral el proceso productivo, tomando en cuenta las necesidades de control, gestión y mantenimiento del sistema de producción.

El trabajo está organizado en tres secciones además de la introducción. La sección 2 está orientada a los modelos empresariales comúnmente usados tales como: modelado horizontal del proceso a partir del flujo de productos y el modelado vertical asociado a una jerarquía de decisiones, así como en enfoques planos (heterarquías) y la visión holárquica. La sección 3 presenta una visión de tecnologías de información al problema de la integración de la información basado en la integración de datos e interfaces. La sección 4 trata sobre las tendencias en integración basadas en las nuevas arquitecturas de automatización, presentando una visión integrada de modelos de empresa y arquitecturas TIC. Finalmente se dan algunas conclusiones y recomendaciones.

2. ESTRATEGIAS DE MODELADO EMPRESARIAL.

En base a lo expuesto en la Introducción, existen distintos enfoques para el modelado del negocio que permiten visualizar el flujo de productos, informaciones y decisiones que deben ser soportadas por una infraestructura organizativa y una arquitectura TIC, que permita el flujo de información y decisiones de manera segura.

2.1 Modelado horizontal a partir del flujo de productos.

De acuerdo al organigrama funcional de la empresa, distintas unidades de negocio realizan actividades complementarias, donde la información de una depende de la información de la otra. De acuerdo al modelo propuesto por Porter (Porter, *et al*, 1985), el negocio que debe estar orientado a satisfacer las necesidades del cliente se ajusta al modelo que se muestra en la figura 3. En este modelo los elementos fundamentales son la Logística de Insumos, Operaciones, Logística de Distribución, Mercadeo y Ventas, Servicios y las funciones de apoyo Compras, Desarrollo Tecnológico, Recursos Humanos e Infraestructura Corporativa.

Para mantener la información necesaria entre los distintos elementos, se desarrollan modelos basados

Flujos de Trabajo (Workflow), que permiten compartir la información entre los componentes del proceso.

La definición de los *Flujos de Trabajo*, permite mantener integrados los procesos mediante la interacción de las distintas unidades, las cuales conservan su autonomía. El comportamiento del sistema se describe mediante un sistema de eventos discretos. Van der Aalst propone las Redes de Petri como el modelo central del comportamiento de los flujos de trabajo. (Van der Aalst , 1997-1999).

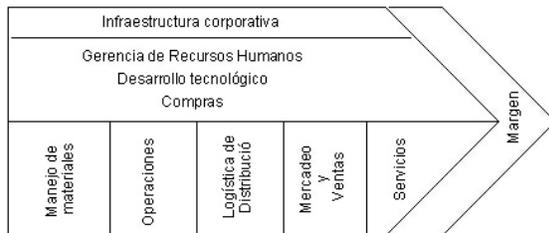


Fig. 3. La cadena de Valor de Porter.

El comportamiento general del sistema se puede obtener mediante la composición de los distintos elementos que lo conforman. El sistema es un sistema de entrada - salida, donde las entradas son eventos y asociada a cada entrada, el sistema va a producir una salida.

El comportamiento de cada componente es un SDED. Un componente que genera un evento, emite un mensaje a otro componente que lo recibe como un evento de entrada. La recepción de este evento va a generar un conjunto de actividades, que van a generar cambios en el estado del sistema, y posiblemente un mensaje de salida a otro componente o al componente que inició la cadena.

La interacción entre los sistemas puede ser supervisada por un elemento de mayor nivel. De acuerdo al enfoque utilizado, una Unidad Funcional es una unidad autónoma, por lo tanto es capaz de mantener información sobre su estado, tomar decisiones e interactuar con otras unidades funcionales. Figura 4.



Fig. 4. Unidad Funcional autónoma.

La interacción de la Unidad Funcional con el resto del sistema se da mediante el intercambio de información, lo que permite al supervisor mantener actualizado el estado de cada Unidad Funcional, tal como se muestra en la figura 5.

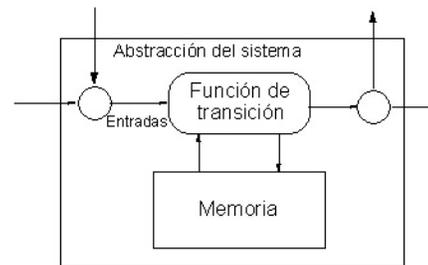


Fig. 5. Abstracción del comportamiento de la Unidad Funcional.

El flujo de información y productos a través de la cadena de valor, va produciendo cambios en el estado del sistema, que son seguidos por un nivel de coordinación, que le permite conocer en todo momento el estado de cada Unidad Funcional. El modelo de comportamiento de la Unidad Funcional es un SDED. La Unidad Funcional autónoma mantiene la información de sus procesos, y se comunica con el nivel de coordinación a través de un conjunto de interfaces y mensajes bien definidos, que le permiten al nivel de coordinación, mantener un conocimiento total del estado del sistema.

El estado del sistema resulta de una abstracción de las dinámicas de los distintos elementos internos a la Unidad Funcional. Solo unos pocos eventos son conocidos fuera de la Unidad Funcional.

Modelado del flujo de productos, y flujo de conocimientos.

El modelo basado en la *cadena de valor* toma en cuenta cual es el flujo de información y

conocimientos que debe existir entre las distintas unidades, con el fin de acrecentar el valor del producto a medida que el mismo va moviéndose a través de las distintas unidades y como se va acrecentando.

La cadena de valor de Porter da entonces un esquema de descomposición horizontal basado en el flujo de conocimientos, productos, e informaciones entre Unidades Funcionales del mismo nivel. La figura 6 ilustra un esquema específico desarrollado para una empresa hidrológica, donde se pone en relieve el manejo de sus distintas actividades.

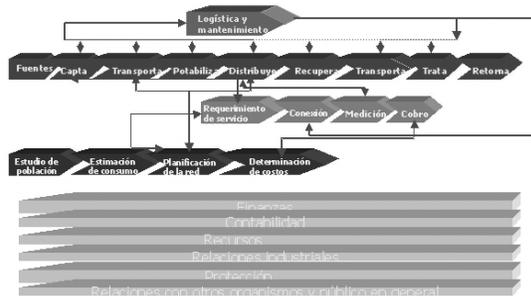


Fig. 6. Sistema integral de la cadena de valor.

Las distintas funciones de la empresa se descomponen en sub-actividades que integradas horizontalmente cumplen con la función especificada.

En el ejemplo de la figura 6, la cadena de logística y mantenimiento corresponde a las actividades de manejo de inventarios de equipos y recursos necesarios para asegurar la potabilización del agua, el mantenimiento de las redes de distribución y el soporte a los clientes. Las líneas entre las distintas funciones corresponden a los retornos de información. Las decisiones son internas y no están bien reflejadas en este enfoque de modelado. Funcionalmente la realización de las distintas actividades, al ser integradas producen una secuencia de cambios que conducen al sistema a unos estados que deben ser supervisados, con el fin de tener un comportamiento deseado.

2.2 Descomposición vertical del sistema de producción.

La siguiente visión del problema de integración, está relacionada con la descomposición funcional

del esquema de decisiones. Las funciones se dividen en funciones de control, programación y planificación según distintos autores. En (Shobrys y White, 2002), se hace un análisis sobre las necesidades de su integración y las dificultades de su implantación. En este caso, el manejo de las decisiones tiene una estructura totalmente jerárquica. Otro esquema de separación jerárquica de las funciones de la empresa, esta dada por la estructura de los activos de la empresa, que son agrupados según CIM en:

Empresa	Unidad
Planta	Celda
	Equipo

En el caso de procesos de producción continua, el modelo utilizado es el dado por la Pirámide de Automatización en funciones de control directo (regulatorio, secuencial), supervisión (implica el manejo de la parametrización de los controladores) y coordinación (entre procesos con el fin de asegurar la compatibilidad en las operaciones). El siguiente nivel está asociado a la optimización de las operaciones dentro de una planta, y permite seleccionar las mejores alternativas de producción para un proceso en unas condiciones dadas. En este caso, a dinámica del sistema se expresa en términos de un sistema discreto, el cual permite evaluar distintas alternativas. Esta organización con una descomposición vertical de las funciones de gestión en la empresa puede ser resumida en la propuesta de la Universidad de Purdue conocida como "Purdue Enterprise Reference Architecture" (PERA) y sirve de apoyo para el desarrollo de un esquema de integración SP-95 de la ISA.

Para la solución de los problemas planteados en cada nivel de la pirámide, en la industria se han usando técnicas que van desde los algoritmos basados en modelos estacionarios del proceso para seleccionar óptimos de operación, como por ejemplo HYSYS (Aspentech,), el uso de estrategias heurísticas como las utilizadas por GENSIM en G2 y NeurOn-Line. (GENSIM, a y b). Las distintas empresas comienzan a utilizar la orientación a objetos para describir las *Unidades Funcionales* encontradas en las distintas plantas. (GENSIM, c) y en la propuesta del Grupo de Trabajo - World Batch Forum para la descripción de objetos de negocio mediante XML (WBF).

Los aspectos más resaltantes en la construcción del esquema de integración vertical son similares a los expresados para la integración horizontal, y son los de la posibilidad de describir los comportamientos mediante SED.

3. ARQUITECTURAS TELEINFORMATICAS DISPONIBLES EN EMPRESAS AUTOMATIZADAS.

Una gran cantidad de empresas automatizadas o que están en vías de automatización, han tenido una estrategia de crecimiento basada en la solución de problemas en piso de planta y una integración de actividades de gestión. Esto ha conllevado a la creación de "Islas de Automatización", donde ciertos procesos considerados críticos, disponían de dispositivos que permitían mantener bajo control algunos procesos y otros no. Posteriormente surgió la visión de conectar estas "Islas de Automatización" (en vez de integrar) a centros de control, los cuales finalmente se conectaban a los sistemas de gestión. En la figura 7 se muestra la estructura de integración vertical disponible en una empresa integrada.

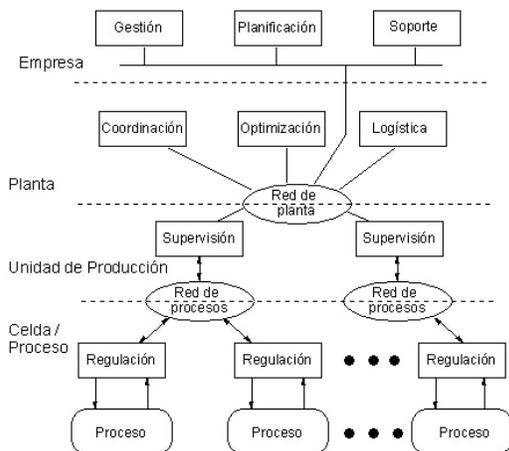


Fig. 7. Arquitectura teleinformática clásica.

La integración se logra con una combinación de equipos y redes de comunicación que permiten la transferencia de información entre los distintos niveles de la empresa. A nivel de Celda, la tecnología orientada al control regulatorio realiza tareas de control y de adquisición de información

necesarias para la supervisión del proceso. Los equipos de control están conectados con los elementos finales de control y medición del proceso mediante *Redes de Campo*.

Los equipos de control, que conforman el segundo nivel, además de controlar el proceso, conocen el estado de los equipos de producción (inspección y mantenimiento) y los resultados del proceso de producción (gestión del proceso). Estos equipos se conectan mediante una red de procesos (tecnologías distintas: Red de Área Local (LAN) y Redes de Área Ancha (WAN)) para transferir la información necesaria para asegurar la coordinación entre las distintas áreas de producción asegurando un trabajo coherente. Esta comunicación es bi-direccional.

Como parte de la red de procesos, existe una infraestructura específica para concentrar la información, permitir la supervisión del proceso (automática o mediante operadores humanos que utilizan interfaces hombre máquina-adequadas), denominado el centro de control. Internamente, el centro de control tiene una estructura que integra las distintas funciones de supervisión, integra la coordinación, ejecuta parcialmente algunas labores de optimización. Ver fig. 8.

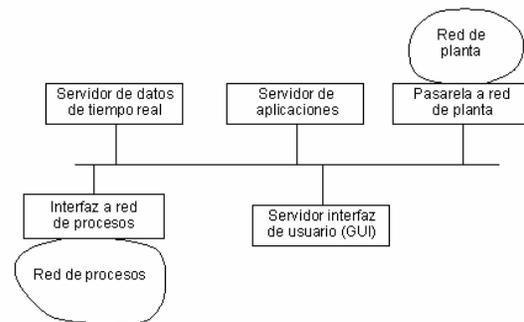


Fig. 8. Arquitectura teleinformática clásica.

El centro de control, cumple además en la función de integración entre el ambiente de procesos y los ambientes de optimización y gestión de la producción.

Finalmente, en el nivel de planta (coordinación y optimización) y en el nivel de empresa, (gestión, administración, desarrollo), la integración entre las diferentes funciones se logra mediante el una

combinación en el usos de Redes de Área Local (LAN), Redes de Área Metropolitana (MAN) y Redes de Área Ancha (WAN), desde el punto de vista de comunicaciones punto a punto (Point-to-Point communications) y para los protocolos de comunicación fin a fin (End-to-End communications), el uso de “Intranets”, “Extranets”, pero principalmente el uso de middlewares que hacen transparentes la comunicaciones entre las distintas aplicaciones que soportan el negocio.

La tecnología desarrollada hasta el presente, permite implantar mecanismos de cooperación entre aplicaciones, con el fin de tener una empresa integrada. La dificultad remanente en estos modelos es la del establecimiento de la cooperación entre las distintas funciones del sistema.

4. UTILIZACIÓN DE LOS NUEVOS ENFOQUES DE AUTOMATIZACIÓN INTEGRADA: UNA PROPUESTA

A partir de la existencia de unas tecnologías de automatización, informática y comunicaciones, la integración en la empresa tiende hacia la integración de los sistemas de toma de decisiones. Esto implica el uso de modelos de negocio, que estén orientados hacia la minimización de los desperdicios, maximizando el uso de los recursos disponibles. El uso intensivo de la información, que va desde el conocimiento del mercado sobre aspectos como: gustos del consumidor, concurrencia en los productos a producir; tomando en cuenta técnicas y tecnologías usadas por los competidores, hasta la disponibilidad de proveedores de insumos de alta calidad con buen precio que nos permitan tener ventajas comparativas y competitivas para nuestro producto. La disponibilidad de esta información nos debe permitir disparar de manera automática, la logística que nos asegure cumplir con compromisos de manera rápida, así como el entonamiento de las operaciones. La integración que se da en la empresa, no sólo es vertical, sino también horizontal sobre la cadena de valor.

Las tendencias van en el uso de arquitecturas holónicas citadas en la sección 2, que mantienen un conocimiento de sí mismas y son capaces de predecir los resultados a partir de modelos discretos del comportamiento del proceso. Otros autores

plantean el uso de “*Agentes de Software*”, como un elemento que mantiene el conocimiento de cada uno de los elementos que intervienen en la producción, proponiendo arquitecturas heterárquicas. Las arquitecturas TIC propuestas para la implantación que aparecen como las más adecuadas son las “*Arquitecturas Metamórficas*”, esto es, arquitecturas que se adecuan al modelo de organización de la producción (Norrie, 2000). Sin embargo, este enfoque necesita ser completado con el hecho de disponer de modelos de toma de decisiones que permitan prever las consecuencias de una decisión, y que permitan la cooperación entre los distintos componentes.

Las abstracciones mostradas en la sección 1 y 2 sobre modelos de comportamiento, integradas con arquitecturas metamórficas implementadas para cada unidad de producción, permiten tener la abstracción para simplificar el modelo, manteniendo información suficiente para lograr poder evaluar comportamientos globales.

La conjunción de las arquitecturas TIC metamórficas, el uso de modelos discretos que sean una abstracción y que permitan una lograr obtener un estado global del sistema parecen ser la solución al problema de integración vertical, mientras que para la cooperación horizontal entre las distintas unidades, modelos basados en los flujos de trabajo, mencionados en la sección 2, permiten la integración horizontal. Ambas técnicas son coherentes, pues se basan en modelos dinámicos a eventos discretos del flujo de información entre unidades.

4.1 Integración horizontal del modelo de producción.

La dinámica de cada unidad se expresa en términos de un DES tal como se muestra en la figura 9. La dinámica del sistema global se obtiene de la composición de la dinámica de los distintos elementos que conforman el sistema de producción. El estado del sistema se puede modificar mediante la habilitación / inhabilitación de eventos por parte de un supervisor.

La coordinación se expresa como un supervisor, centralizado o distribuido, que se encarga de asegurar una dinámica conjunto sea la deseada para

el sistema. La coordinación reconoce el estado del sistema y habilita eventos para cada componente de manera tal que el sistema global guarde la coherencia.

Los sistemas de WORKFLOW (Van der Aalst, 1997, 1998, 1999), antes mencionados, representan cada uno de los procesos del negocio como un sistema discreto modelado mediante redes de Petri, con una coordinación dada por transiciones conjuntas que aseguran la coordinación global del sistema. Otros modelos de coordinación se logran mediante el intercambio de mensajes entre aplicaciones.

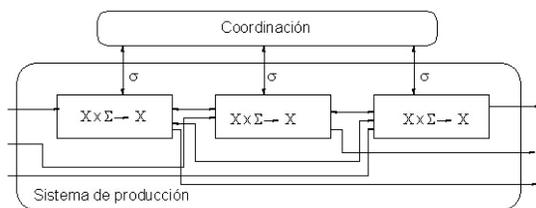


Fig. 9. Dinámica global del sistema.

4.2 Integración vertical del modelo de producción.

La integración vertical más conveniente en el caso de sistemas de producción, va en el sentido del uso de arquitecturas metamórficas, esto es, arquitecturas TIC asociadas a la descomposición por unidades autónomas, y que siguen la propuesta del grupo HoMUCs (Wang, 2000, Stylios *et al*, 2000). Una implementación se logra usando la propuesta de Norrie (Brenan *et al*, 2001) para los elementos finales de campo y de control de procesos. La complementación de los niveles superiores es alcanzable mediante equipos asociados a la "holarquía" definida para el complejo de producción. Si bien una falla existente es la de la definición del comportamiento de manera vertical, y para lo cual, las aproximaciones de SED y Sistemas Híbridos, permiten definir las interacciones de manera vertical.

En la introducción, se presentó el enfoque de Wonham, Ramadge, Tittus, etc., que permiten describir de manera adecuada el comportamiento de estas unidades autónomas.

CONCLUSIONES

En el trabajo se presentan diferentes visiones para alcanzar la integración de sistemas para procesos productivos y de la necesidad de disponer de sistemas integrados. Los primeros tiempos, las limitaciones tecnológicas impedían alcanzar la conectividad necesaria entre las distintas aplicaciones. La tecnología actual permite la integración, pero las estrategias de modelado del proceso productivo y de las interacciones entre unidades, continúan siendo un problema a resolver para muchos autores. En nuestro enfoque, la integración vertical y horizontal, presentan en común, la necesidad de disponer de modelos basados en DES, del complejo de producción.

La posibilidad de alcanzar la integración se basa en la disponibilidad de técnicas de modelado basados en DES, que permiten componer dinámicas de sistemas aislados, basados en el intercambio de eventos. Desde el punto de vista tecnológico, las TIC proporcionan todo el andamiaje necesario para la transferencia de eventos sobre una arquitectura distribuida. La dificultad mencionada por distintos autores en relación a modelos unificados, parece resuelta mediante la definición de un modelado unificado del proceso productivo mediante DES.

REFERENCIAS

- Antsaklis P. J., Stiver J. A., and Lemmon M.. 1993 "Hybrid system modeling and autonomous control systems," in Hybrid System (R. L. Grossman, A. Nerode, A. P. Ravn, and H. Rischel, eds.), no. 736 in LNCS, pp. 366--392, New York: Springer Verlag.
- Aspentech. HYSYS: Process modelling tool for steady-state simulation, design, performance, monitoring, optimization and business planning for oil & gas production, gas processing and petroleum refining industries. <http://www.aspentech.com/brochures/>
- Bemporad, A. and M. Morari (1999a). Control of Systems Integrating Logic, Dynamics, and Constraints. *Automatica* 35(3), 407--427.
- Bemporad A. and Morari M., (1999b), "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints," *Automatica*, 35(3), pp. 407--427.

- Bemporad A., Morari M., Dua V., and Pistikopoulos E.N..(2000a) The explicit solution of model predictive control via multiparametric quadratic programming. In Proceedings of the American Control Conference, Chicago, USA, June 2000.
- Brenan R., Zhang X., Xu Y., Norrie D. A reconfigurable concurrent function block model and its implementation in real-time Java Integrated Computer-Aided Engineering 9 (2002) 263–279
- Chacón E., Besembel I., Narciso F., Montilva J., Colina E.. 2002. An Integration Architecture for the Automation of a Continuous Production Complex. ISA Transactions **41**(1) pp. 95 - 113.
- Deshpande A., Gill A., and Varaiya P., 1997. "SHIFT: A formalism and a programming language for dynamic networks of hybrid automata," in Hybrid Systems IV, P. J. Antsaklis, W. Kohn, A. Nerode, and S. Sastry, Eds: Springer-Verlag, , pp. 113 - 133. LNCS 1273.
- Engell, S., St. Kowalewski, and B. H. Krogh (1997). Discrete Events and Hybrid Systems in Process Control. Invited Paper, Proc. 5th International Conference on Chemical Process Control Tahoe City, 1996, (J. E. Kantor, C. E. Garcia, B. Carnahan, Eds.), AIChE Symposium Series No. 316, **93**, 1997, 165 - 176.
- GENSIM. (a) NeurOn-Line. <http://www.gensym.com//manufacturing/>
- GENSIM. (b) G2. <http://www.gensym.com//manufacturing/>
- GENSIM. (c) Intelligent Objects. <http://www.gensym.com//manufacturing/>
- ISA. 2002. System Integration Part 1: Models and Terminology. ISA
- ISA. 2003 SP-95 Enterprise Control System Integration Part 2: Object Model Attributes. ISA
- Krogh B.H. 1993. Condition/event signal interfaces for block diagram modeling and analysis of hybrid systems. In Proc. 1993 IEEE International Symposium on Intelligent Control, pages 180 - 185, Aug.
- Mesarovic, M., Macko, D., and Takahara, Y. 1970. Theory of Hierarchical Multilevel Systems. vol. 68 of Mathematics in Science and Engineering. Academic Press.
- Passino, K.M., Antsaklis, P.J. 1989 On the Optimal Control of Discrete Event Systems. In: Proc. CDC'89. IEEE 2713 - 2718.
- PERA. Purdue Enterprise Reference Architecture. <http://www.pera.net>
- Porter M.E. and Millar V.E., "How Information Gives You Competitive Advantage", Harvard Business Review, July-August 1985, p.151
- Ramadge R. J. and Wonham W. M., 1987. Supervisory control of a class of discrete event processes. SIAM J. Control and Optimization, **25**(1), pp. 206 - 230.
- Ramadge P. J. and Wonham W. M., 1989. The control of discrete event systems. Proceedings of IEEE, **77**(1), pp. 81 - 98.
- Singh M. G. and Titli A.. 1978 Systems: Decomposition, Optimisation, and Control. Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering, and Social Studies. Pergamon Press, Oxford ; New York, 1978. 23.
- Shobrys D. and White D.C. 2002. Planning, scheduling and control systems: why cannot they work together. *Computers and Chemical Engineering*. **26**(2). Pp 149-160.
- Stylios C, Groumpos P, Langer G, Sørensen C, Hyun YT, Weck M, Jung B. Discipline research contributions to the modelling and design of Intelligent Manufacturing systems. http://www.ici.ro/ici/revista/sic2000_2/art04.ht
- Tittus M. and Egardt B.. 1994a Control-law synthesis for linear hybrid systems. In Proc of 33rd CDC, pages 961 - 966, Orlando, FL, USA.
- Tittus M. and Egardt B.. 1994b Controllability and control-law synthesis of linear hybrid systems. In G. Cohen and J.-P. Quadrat, editors, 11th Int. Conf. on Analysis and Optimization of Systems, Lect. N. in Contr. and Inf. Sci. 199, pages 377 - 383. Springer Verlag, Sophia-Antipolis, France.
- Tittus M. and Egardt B.. 1995 Hybrid objects. In A. Nerode P. Antsaklis, W. Kohn and S. Sastry, editors, Hybrid Systems II, Lect. N. in Comp. Sci. 999, pages 493 - 508. Springer Verlag,
- Tomlin C., Pappas G., and Sastry S., 1996 "Conflict resolution for air traffic management: a case study in multi-agent hybrid systems." (preprint, submitted to Special Issue on Hybrid Systems of the IEEE Transactions on Automatic Control).
- University of Hannover. 2000. Holonic Manufacturing Systems. Web Page,

- <http://hms.ifw.uni-hannover.de/>
- Van Brussel H., J. Wyns, P. Valckenaers, L. Bongaerts, and P. Peeters. 1998. Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA; *Computers in Industry* **37**, 255 - 274. Elsevier.
- Van der Aalst W.M.P. 1997. Verification of Workflow Nets. Proceedings of icatpn'97, volume 1248 of Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag. 407 - 426.
- Van der Aalst W.M.P. 1998, The Application of Petri Nets to Workflow Management, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. **8**(1), 21-66.
- Van der Aalst W.M.P. 1999 Interorganizational Workflows: An Approach based on Message Sequence Charts and Petri Nets. *Systems Analysis - Modelling - Simulation*, **34**(3):335 - 367, 1999.
- Wang L. 2000. Collaborative Design Approach For Holonic Manufacturing Systems, url = "citeseer.ist.psu.edu/296462.html"
- Wyns J., Van Brussel H., Valckenaers P., and Bongaerts L., 1996. Workstation Architecture in holonic manufacturing systems, 28th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems.
<http://www.mech.kuleuven.ac.be/pma/project/goa/extracts/architec.htm>
- Wyns J., 1999. Architecture for Holonic Manufacturing Systems: The Key to Support Evolution and Reconfiguration. PhD thesis, K.U.Leuven, PMA Division.