

Comportamiento Autónomo del Holón Recurso basado en la Agenda de Producción

Autonomous Behavior of Resource Holon based on the Production Agenda

Luis F. Quintero H. Ing¹., German Zapata M. MSc¹., Demetrio Ovalle C. PhD¹. y Edgar Chacón R. PhD².

1 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia

2 Universidad de los Andes, Venezuela

lfquint0@unal.edu.co, gdzapata@unal.edu.co, dovalle@unal.edu.co, echacon@ula.ve

Recibido para revisión 18 de Abril de 2008, Aceptado 19 de Mayo de 2008, Versión final 23 de Mayo de 2008

Resumen—Los sistemas de manufactura son sistemas altamente dinámicos, impredecibles y distribuidos, exigiendo de la arquitectura de control flexibilidad, capacidad de toma de decisiones autónomas y adaptación rápida antes de disturbios que puedan presentarse en el sistema. Los paradigmas Holónico y Multi-Agentes han demostrado ser apropiados para el diseño y modelamiento de arquitecturas de control e implementación de sistemas distribuidos inteligentes. Por definición, las unidades de producción holónicas son unidades autónomas que permiten el modelamiento de la información e infraestructura que compone el sistema de manufactura. El holón recurso definido como componente de la unidad de producción, permite el modelamiento del comportamiento de las dinámicas existentes en los elementos que realizan una parte del proceso de manufactura. La agenda contiene las órdenes de trabajo en función del tiempo, evaluadas y aceptadas para ser procesadas en el holón recurso. Esta representa el registro de capacidad, historial y de trazabilidad del recurso. Por tanto, la agenda es el centro de la inteligencia (toma de decisiones) y comportamiento del holón recurso. Las dinámicas del comportamiento autónomo de la unidad de producción son representadas de manera formal mediante la implementación de las redes de Petri.

Palabras Clave—Holón, Unidad de Producción Holónica, Autonomía, Manufactura Holónica, Sistemas Distribuidos, Control de Manufactura, Sistemas Multi-Agente.

Abstract— The manufacturing systems are unpredictable, distributed and highly dynamic, which demands the control architecture flexibility, autonomous decision-making capability and fast adaptation in the presence of disturbances that may be in the system. The Holonic and Multi-Agent paradigms have shown to be suitable for the design and modeling of control architectures and the implementation of distributed intelligent systems. By definition, the holonic production units are autonomous units which allow modeling of the information and infrastructure that composes the manufacturing system. The resource holon is defined as a component of the production unit, which allows

modeling the behavior of the existing dynamics in the elements that perform a part of the manufacturing process. The agenda contains the evaluated and accepted work orders as a time function to be processed by the resource holon. This agenda represents the capacity register, resource historic and traceability. Therefore, the agenda is the intelligence (decision-making) and behavior center of the resource holon. The autonomous behavior dynamics of the production unit are represented in a formal way by means of the Petri nets implementation.

Keywords—Holon, Holonic Production Unit, Autonomy, Holonic Manufacturing, Distributed Systems, Manufacturing Control, Multi-Agent Systems.

I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Inteligentes de Manufactura y específicamente la manufactura holónica, son organizaciones altamente distribuidas, donde la inteligencia se distribuye sobre las entidades individuales llamadas holones, los cuales son entidades autónomas, cooperativas e inteligentes. En [1], [2], [3] se presenta la definición de holón según Arthur Koestler: un holón es una estructura auto-similar o fractal que es estable y coherente y que consiste en varios holones como subestructuras, donde ninguno de estos componentes puede ser entendido sin los subcomponentes o sin la súper componente de que forma parte.

El concepto de holón desde el punto de vista de su aplicación en sistemas de manufactura, es posible que sea formado a partir de las definiciones encontradas en [2], [4], [5] y [6] y en la que se encuentra la definición del consorcio HMS: holón es un bloque de construcción de un sistema de manufactura que está en capacidad de controlarse a sí mismo, considerando que son capaces con cierto grado de razonamiento local, con capacidad de decisión, comportamiento autónomo y con la habilidad

para comunicarse de manera interactiva con otros holones. Esta funcionalidad es utilizada para transformar, transportar, almacenar y/o validar información de objetos físicos. El holón esta conformado por una parte de procesamiento de información (componente de software) y una de procesamiento físico opcional (componente de hardware).

Los holones realizan un control descentralizado llamado control holónico, mediante una arquitectura holárquica implementada en el sistema de control de manufactura. Esta permite mejorar el nivel de reacción a disturbios e implementar políticas claras de optimización del proceso. Por tanto, es necesario establecer los atributos de los sistemas distribuidos como negociación y cooperación, a la vez que el sistema mantiene un comportamiento autónomo.

La Unidad Producción (UP) [7], [4] es una propuesta para alcanzar la construcción de sistemas de automatización integrados de control con base en una concepción holónica, mediante la cual ésta se concibe como la composición de un conjunto recursos, misiones o metas y métodos de producción o ingeniería, que son organizados y configurados de tal manera que permitan realizar los procesos de transformación en la cadena de valor, con el objetivo de obtener los productos exigidos. La UP toma sus propias decisiones (autonomía) respecto al cumplimiento de su objetivo, pero está obligada a informar su estado en el cumplimiento de una meta o si ésta no se puede cumplir debido a una falla o errores en su comportamiento (proactividad) [7]. La Figura 1 presenta el esquema de una unidad de producción.

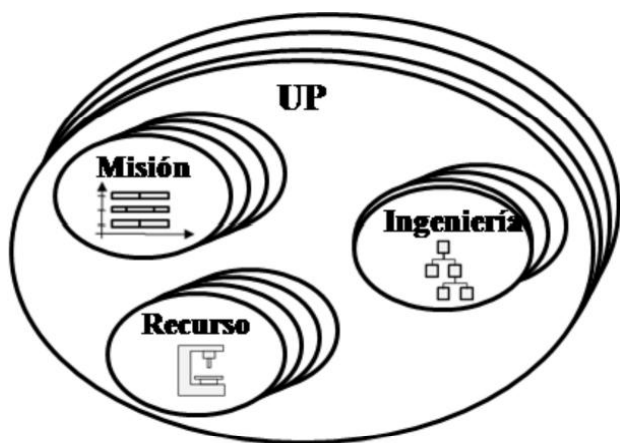


Figura 1. Unidad de producción holónica.

De acuerdo a [7] Las unidades de producción son consideradas autónomas, ya que son capaces de tomar sus propias decisiones por medio de sus dispositivos de control local, con el fin de mantener el sistema seguro y de trabajo de acuerdo a las especificaciones recibidas del supervisor.

De acuerdo a [7] La implementación de la capa de decisión e información de una unidad de producción holónica (UPH) se puede lograr mediante el uso de agentes inteligentes, que son capaces de controlar el sistema interno, tomando decisiones

sobre la mejor manera de asegurar las metas de producción y el intercambio de información con el entorno donde la UPH esta localizada. Según [8], [9], los agentes son entidades computacionales, que perciben su entorno a través sensores y que actúan en él mediante actuadores. Son sistemas autónomos y flexibles, donde la flexibilidad de un agente está definida por su reactividad, proactividad y sociabilidad.

La coordinación y distribución del conocimiento mediante agentes son llevadas a cabo mediante sistemas Multi-Agente (SMA) [9]. Un sistema Multi-Agente es uno que contiene una colección de dos o más agentes, en la que se coordina la inteligencia de los agentes que conforman el sistema. Los SMA ayudan al modelamiento del control holónico en sistemas de manufactura [8]. De acuerdo a [7], las aplicaciones de manufactura holónica presentan características para las cuales los SMA se adaptan mejor al momento de la implementación, estas son: modularidad, descentralización, modificación, funciones complejas y los atributos básicos de comportamiento autónomo, y cooperativo (negociación). Además, trabajos de diseño de arquitecturas de integración holárquicas tienen su fase de implementación mediante el control inteligente de SMA [10], [11], [18], [19].

De acuerdo a [8] es razonable ampliar la capacidad de representación de estos holones con las funcionalidades de agentes inteligentes de software, considerando que los equipos o recursos de manufactura presentan comportamientos reactivos y proactivos, que son el fundamento para la cooperación y formación dinámica de grupos autónomos de holones. Además [1] anota que el “El desarrollo de sistemas estables y escalables de software requiere agentes autónomos que pueden completar sus objetivos mientras se encuentran en un entorno dinámico y de incertidumbre, que puede participar en interacciones sociales de alto nivel, y que pueden funcionar en estructuras organizativas flexibles”.

El concepto de autonomía ha sido definido desde los conceptos de la teoría de control, los sistemas Multi-Agente, holones y unidades de producción. En [20] por autonomía se indica que cada módulo del sistema tiene su propia funcionalidad y que es independiente de otros módulos. Para [21] la autonomía no es parte del diseño del sistema de control, es una propiedad que emerge del comportamiento estratégico de los sistemas de control inteligente, que proporciona a cada elemento la capacidad de maximizar la posibilidad de presentar y ejecutar sus habilidades. Por tanto un sistema de control está diseñado de manera que pueda lograr autónomamente sus metas, entre tanto que sus componentes, objetivos de control, modelo de la planta y leyes de control no están completamente definidas, ya sea porque no son conocidos en el tiempo de diseño o porque cambian inesperadamente. Esto posibilita al sistema adaptarse a la incertidumbre y a la operación durante periodos largos de tiempo sin intervención humana. En [5] la autonomía es definida mediante el concepto de composición de un SMA, esto es, mediante agentes autónomos que se comportan autónomamente con respecto a sus acciones y percepción de su dominio, posibilitando su operación en entornos caracterizados por la

incertidumbre e imprevisibilidad sin la directa intervención de humanos u otros agentes. Una definición más clásica de autonomía es encontrada en [2], [24], [18], [11], definiéndola como la capacidad de una entidad de crear, controlar y monitorear (supervisar) la ejecución de sus propios planes y/o estrategias de comportamiento. En [30] La autonomía representa el grado o la manera de cuantificar la inteligencia dada al holón.

Ante la necesidad de representar el comportamiento de las dinámicas que definen los elementos de autonomía y que fueron expuestos anteriormente, las redes de Petri (PN) [12], [13] constituyen una metodología formal de modelamiento que permite la especificación y análisis [14] de sistemas a eventos discretos [15], necesaria para definir de manera formal el comportamiento dinámico de un sistema de manufactura [16]. Las PN son un sistema experto [17] basado en modelo que permite representar el comportamiento asíncrono y concurrente propio de estos sistemas.

Este trabajo está estructurado como sigue. La sección II expone los trabajos que se han realizado alrededor de la autonomía en sistemas de manufactura. La sección III presenta la autonomía en el holón recurso (HR) e introduce el concepto de agenda desde el punto de vista de manufactura. En la sección IV se presentan los elementos que componen la autonomía del HR como componente fundamental de la unidad de producción holónica. En esta se incluye la representación de las dinámicas del comportamiento mediante redes de Petri de los mecanismos que dan capacidad de crear, controlar y monitorear a la UP.

II. AUTONOMÍA EN SISTEMAS DE MANUFACTURA HOLÓNICA

Las arquitecturas conocidas actualmente tienen diferentes enfoques acerca del modelamiento y el diseño de sistemas de manufactura inteligentes, pero estas buscan el mismo objetivo: un sistema ágil de manufactura [26], [27]; incrementar la capacidad de trabajo y toma de decisiones en entornos con incertidumbre [21], [19]; y alcanzar sistemas tolerantes a fallas y perturbaciones [2], [27], [20].

En [26] se presenta la autonomía e inteligencia como requerimiento de modelamiento y control de la manufactura de la nueva generación, lo que en [28] se ratifica presentando cómo la tecnología de manufactura está avanzando hacia un mayor grado de automatización y, eventualmente, a la autonomía total.

Colombo presenta en [2] los beneficios de la implementación de una arquitectura de control autónomo de manufactura holónica, en un sistema de manufactura que posee la capacidad de lograr eficacia y flexibilidad produciendo una amplia gama de diversas familias de producto, con esfuerzo mínimo en el cambio del entorno de manufactura. Además, el sistema de manufactura esta compuesto de unidades autónomas pero cooperativas, de manera que sea posible lograr las metas globales del sistema. Jarvis y Schools-reiter coinciden en presentar en [22] y [23] respectivamente, la autonomía como elemento que proporciona robustez y simplificación de los procesos distribuidos, llevando

a una mayor flexibilidad y capacidad en la toma de decisiones. En [25] se presenta un sistema de control inteligente de refinerías de petróleo que reacciona y previene interrupciones en el proceso, ayudando a mejorar la respuesta ante disturbios. Los autores desarrollan un sistema a gran escala para apoyar a los operadores humanos en el control de las refinerías de petróleo durante situaciones anormales, mediante ajuste de la autonomía del comportamiento del Sistema de Información y Orientación de Eventos Anormales (AEGIS).

Villa en [30] cuantifica la autonomía de un agente en un sistema de manufactura, mediante el análisis del número de estrategias locales que un agente aplica, dependiendo de su conocimiento sobre los escenarios posibles que pueden ocurrir en el sistema.

En [30] se presentan algunos esfuerzos para abordar los nuevos problemas que plantea la gestión de las arquitecturas de control distribuidas desacopladas, sobre la base de los agentes autónomos. El comportamiento autónomo de un módulo es descrito aquí como: "Ahora cada sitio puede operar independientemente del resto del sistema, las únicas interacciones entre los nodos se realizan a través de los mensajes, que informan sobre la ejecución de la actividad". Esto es, la gestión de un sistema distribuido debe ser a través de elementos autónomos pero cooperativos en sus estrategias para alcanzar la misión.

De acuerdo a [22], dentro del contexto de sistemas de manufactura basado en agentes, la principal preocupación de la capacidad de ejecución es asegurar que el sistema de manufactura basado en agentes sea capaz de establecer y mantener operaciones autónomas y que lleve a cabo tareas compatibles con las tareas de producción, incluso frente a perturbaciones. Giret propone en [19] un agente abstracto como artefacto de modelamiento para entidades autónomas con estructuras recursivas. Este agente facilita la traducción de la arquitectura holónica a un sistema Multi-Agente en su implementación.

La arquitectura HoMuCS [29] provee la estructura interna de un holón consistente en un conjunto de clases y mecanismos basados en eventos para soportar interacción entre el kernel del holón y el holón. El kernel del holón consiste en dos tipos de descriptores de clases: descriptores de autonomía y cooperación. El descriptor de autonomía está conformado por reglas que determinan la autonomía del holón mediante la abstracción del sistema en sus funciones fundamentales de planeación, ejecución y monitoreo.

El mecanismo de autonomía encontrado en [6], [18], [31], [32] trabaja sobre el concepto de invariantes, que de acuerdo a Bongaerst precisa y formaliza la descripción de las propiedades de autonomía y cooperación en un sistema de manufactura. Los invariantes son proposiciones lógicas que deben seguir siendo verdad a través de la ejecución del programa o algoritmo [32]. En esta arquitectura cuando hay un disturbio el mecanismo propuesto intenta adaptar el programa propuesto a una nueva solución, tan buena como sea posible. Para ello el mecanismo

evalúa la disponibilidad de equipo alternativo y/o de secuencias alternativas de procesamiento. De acuerdo a lo anterior, la capacidad de autonomía de un sistema viene dada por el programa del HR, este es responsable de llevar a cabo la tarea del cumplimiento de la misión del sistema de manufactura.

Leitão [11], [27] propone la arquitectura de control holónica ADACOR, la que es construida sobre un conjunto de holones autónomos y cooperativos para mejorar la capacidad de adaptación del sistema de control a entornos cambiantes. ADACOR percibe su entorno y responde rápidamente a cambios presentados en este. El mecanismo de autonomía presentado es denominado Factor de Autonomía, el cual esta asociado a cada holón operacional, que para la unidad de producción es entendido como el HR. Este factor determina y controla el grado de autonomía de un holón y en caso de disturbio adapta el comportamiento del holón de acuerdo a las metas y restricciones del entorno de manufactura. El factor de autonomía debe adaptar la respuesta del sistema de acuerdo a reglas que regulan el comportamiento del holón.

De acuerdo a las arquitecturas de control holónico presentadas anteriormente, se identifica que la autonomía de una UP debe ser implementada a través del HR. En la siguiente sección se ilustrará el mecanismo funcional de autonomía que se propone para las unidades de producción, en este se considera que el centro de inteligencia y autonomía esta definido por el comportamiento que establece la agenda de trabajo del HR.

III. AUTONOMÍA DEL HOLÓN RECURSO

El HR permite el modelamiento del comportamiento y de las dinámicas existentes en los elementos que realizan una parte del proceso de producción. En la arquitectura holónica basada en unidades de producción se tiene un HR por cada recurso existente en el sistema de manufactura. El criterio para catalogar un recurso como un holón es considerando su estructura interna, es decir evaluando las siguientes capacidades: programación de trabajo (metas), método de trabajo (ingeniería), supervisión y monitoreo, manipulación y/o transformación de información. Los recursos que no cumplan con algunas de estas especificaciones pueden ser considerados como dispositivos o equipos de la infraestructura del proceso, que a su vez dependen de la inteligencia de los holones recurso con los que se relacionan de acuerdo al proceso de manufactura.

El HR tiene el conocimiento y los procedimientos para programar, analizar, supervisar y monitorear órdenes de trabajo. La base de estas funcionalidades son la agenda o programa del HR.

La Agenda representa la secuencia de órdenes de trabajo programadas por el HR en función del tiempo. Formalmente la Agenda se representa a través de un secuencia finita ordenada de n órdenes de trabajo, $Agenda = \{OT_1, \dots, OT_n\}$, donde n es el número de órdenes de trabajo (OT) asignadas al HR. Además cada OT esta dada por $OT = (TI, TF, TE, PRE, C, OP, REF)$, donde TI y TF son el tiempo planeado de iniciación y finalización, TE, PRE y C en orden contienen el tiempo definido de entrega, las

restricciones de proceso y la cantidad de ítems a elaborar. OP y REF definen la operación requerida por la orden de trabajo y la referencia de la orden de producción respectivamente.

La herramienta utilizada para la representación de la agenda es el diagrama de Gantt, la cual en su eje horizontal representa el horizonte de tiempo ocupado o tráfico de órdenes de trabajo en el recurso. El eje vertical muestra el centro de trabajo o recurso que está siendo programado. Una muestra del diagrama de Gantt que representa la agenda de un recurso se presenta en la Figura 2.

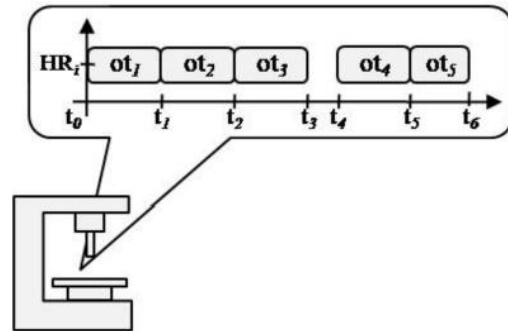


Figura 2. Agenda del holón recurso.

La agenda es en su interior tiene un registro de capacidad, historial y de trazabilidad del HR. Estas funcionalidades le proporcionan al recurso la capacidad de tener un comportamiento reactivo y de entrar en negociación o cooperación con otros holones en caso de fallas, perturbaciones por ingreso de nuevas órdenes o identificación de operación degradada. Por tanto, la agenda es el centro de la inteligencia del holón, considerando que con base en ésta el holón podrá determinar en cualquier momento que operación está realizando, que operación es sucesora a la actual, cual es el estado de ejecución de la tarea o evaluar el grado de adelanto o atraso con respecto al plazo de entrega. La agenda provee al holón la capacidad de definir un nivel de negociación y cooperación con otros holones, permitiendo que la negociación, la cooperación, la supervisión del proceso y la misma agenda, se ajusten en una estructura lógica para el HR, que le permita el manejo de información del proceso. Estas unidades se muestran en la Figura 3.



Fig. 3. Inteligencia del holón recurso.

La capacidad del HR de tomar decisiones de acuerdo a la evaluación local de su estado con base en la agenda de producción, le confiere el carácter de unidad autónoma.

IV. ELEMENTOS DE AUTONOMÍA DEL HOLÓN RECURSO

Como se estableció en [2], [24], [18], [11], los elementos que definen la autonomía en un sistema de manufactura son: la capacidad para crear, controlar y monitorear sus planes de trabajo. De acuerdo con esos elementos, se propone la creación de la agenda como espacio en que el holón crea sus estrategias y planes de trabajo (los negocia con él holón misión), y contiene la información para el seguimiento del objetivo de producción, su monitoreo y control. La Figura 4 ilustra la relación de las componentes agenda, negociación, cooperación y monitoreo.

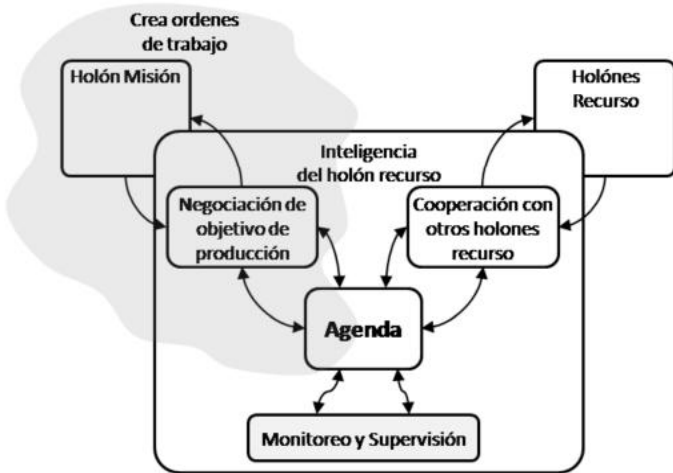


Figura 4. Relación componentes lógicos de la inteligencia del holón

El comportamiento autónomo del HR definido por el concepto de autonomía antes mencionado, es específicamente compuesto mediante: evaluación de solicitudes de trabajo, régimen de operación normal, manejo de disturbios (reactividad), programación reactiva y seguimiento de avances de órdenes de trabajo los cuales se presentan a continuación.

A. Evaluación de solicitudes

Cuando llega una orden de producción a la UP se genera un holón misión (HM) que la descompone en órdenes de producción. Estas órdenes se convierten en propuestas para los holones recurso que tienen competencias para ejecutarlas. El HR de manera autónoma realiza una evaluación con base en la agenda para determinar su capacidad de producir la orden propuesta, en la que se considera conjuntamente el tiempo de entrega (TE) definido para la orden de trabajo. Esta evaluación se ilustra en la Figura 5.

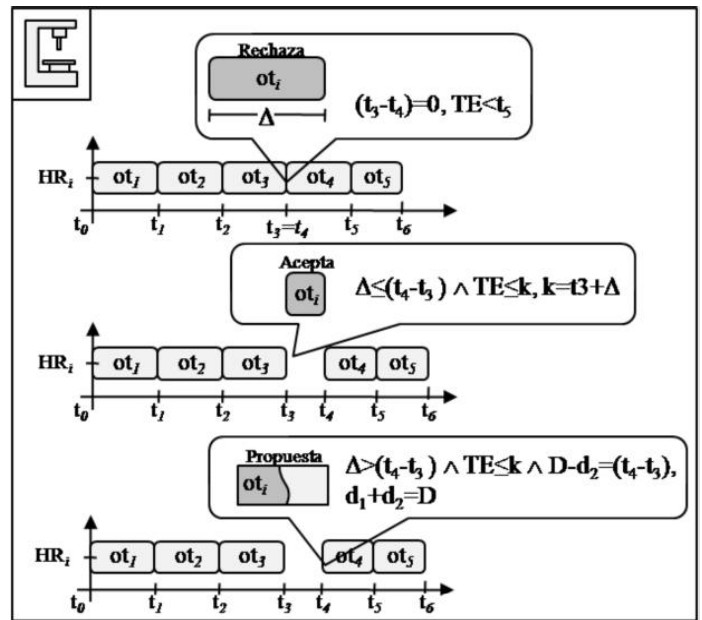


Figura 5. Evaluación de solicitud de manufactura de órdenes de trabajo.

En el caso de que el HR acepte producir la orden de trabajo o proponga una alternativa de producir una fracción de esta, se genera una reserva con el mismo formato de la orden, perteneciente al resultado de esa evaluación, es decir, el HR memoriza el resultado para tener capacidad de respuesta ante la posibilidad de que el HM acepte producir la orden de trabajo en ese HR.

El diagrama de interacción para la evaluación de solicitud de forma local en el holón recurso, que tiene las competencias para manufacturar la orden de trabajo que llega como solicitud, se muestra en la Figura 6. La Figura 7 representa el comportamiento mediante redes de Petri del HR para la evaluación de una solicitud.

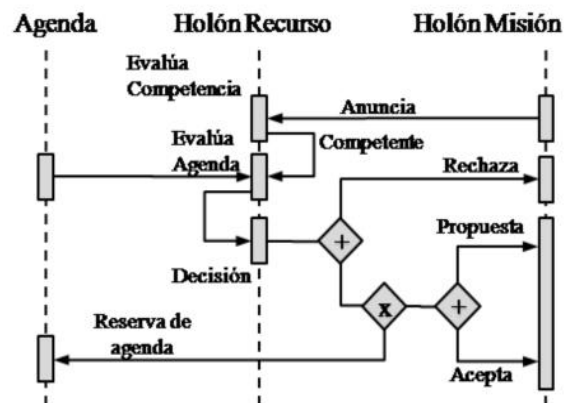


Figura 6. Diagrama de interacción para evaluación de solicitudes de órdenes de trabajo.

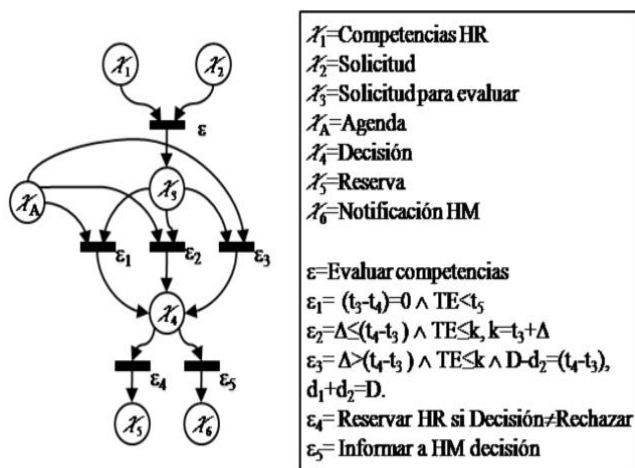


Figura 7. Representación de las dinámicas para evaluación de solicitud.

B. Régimen de operación normal

Considerando que las órdenes de trabajo constituyen la agenda del HR y que tiene asignados tiempos de inicio de ejecución, y que el supervisor conoce el estado real de disponibilidad del HR, son estos dos los que definen de manera conjunta el momento en que debe iniciarse la ejecución por parte del HR. La Figura 8 ilustra el régimen de operación normal.

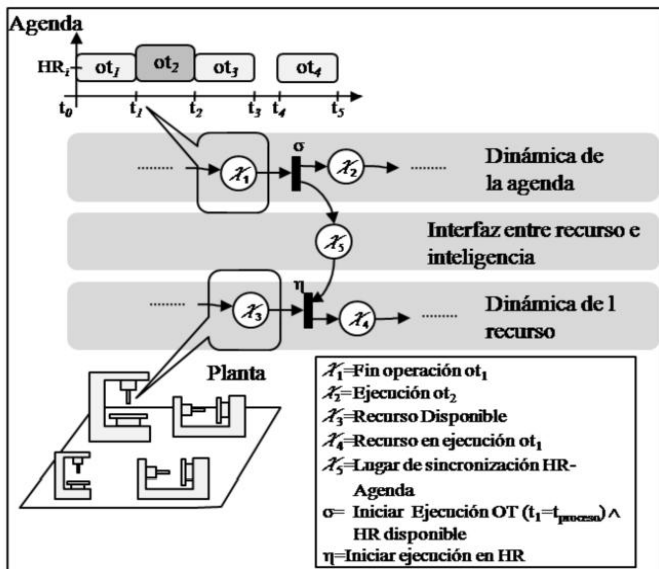


Figura 8. Inicio de ejecución en régimen de operación normal.

C. Manejo de disturbios

Cuando una falla ocurre en un recurso del sistema de manufactura como se ilustra en la Figura 9, el sistema de control debe tomar decisiones con flexibilidad y robustez con base en la agenda de producción del recurso, de manera que el holón pueda superar la falla sin afectar el desempeño global de la UP. El HR debe entrar en cooperación con el holón mantenimiento, que a su vez es un HR, para determinar el impacto de la falla en la ejecución y cumplimiento de la misión.

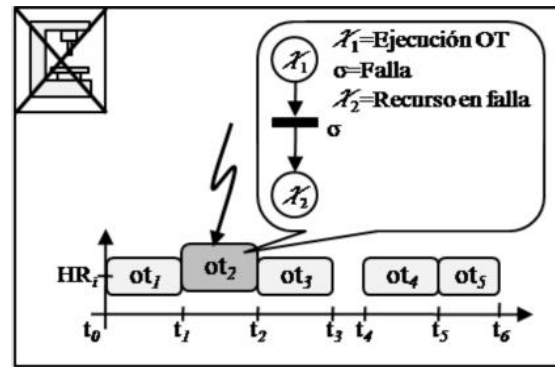


Figura 9. Falla en el holón recurso.

En el caso en que el recurso determine que la misión está en riesgo, el HR de manera autónoma debe entrar en cooperación con otro holón que tenga las competencias y se encuentre en la región de cooperación, para que sea cumplida la orden de trabajo antes de su tiempo de entrega determinado. La Figura 10 ilustra las interacciones existentes en el HR en existencia de falla.

D. Programación reactiva (rescheduling)

Considerando que los sistemas de manufactura son sistemas altamente dinámicos con un entorno de incertidumbre alrededor de su comportamiento, y por tanto un evento inesperado puede ocurrir en cualquier momento, la programación reactiva se convierte en una herramienta de actualización de la agenda del HR en línea con el proceso. Específicamente, se abarca la programación reactiva generada por la llegada de nuevas

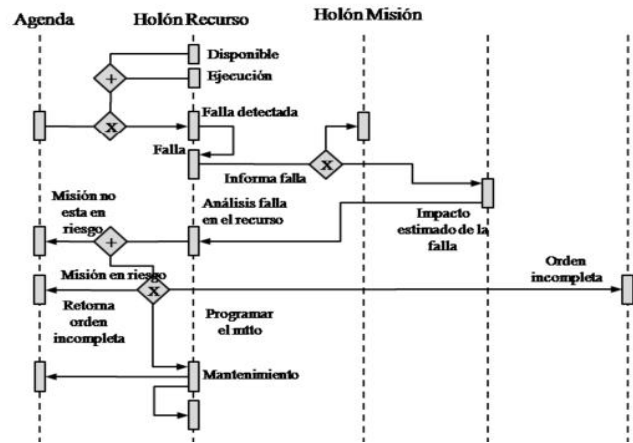


Figura 10. Diagrama de interacción de existencia de falla en el HR.

En la sección de “evaluación de solicitudes” se presentaron las interacciones producidas por las solicitudes enviadas por el HM de la UP. Allí se genera una reserva en el holón recurso de la orden de trabajo evaluada. Cuando se realiza la reserva, el HR adicionalmente envía información al HM referente a la propuesta, con el objetivo de que el HM la evalúe. Luego de que el HM analiza la propuesta de los HR y acepta la mejor opción, la reserva del HR seleccionado se convierte en una orden de trabajo, debiendo actualizarse la agenda de este HR, la Figura 11 representa el comportamiento del HR producto de la programación reactiva.

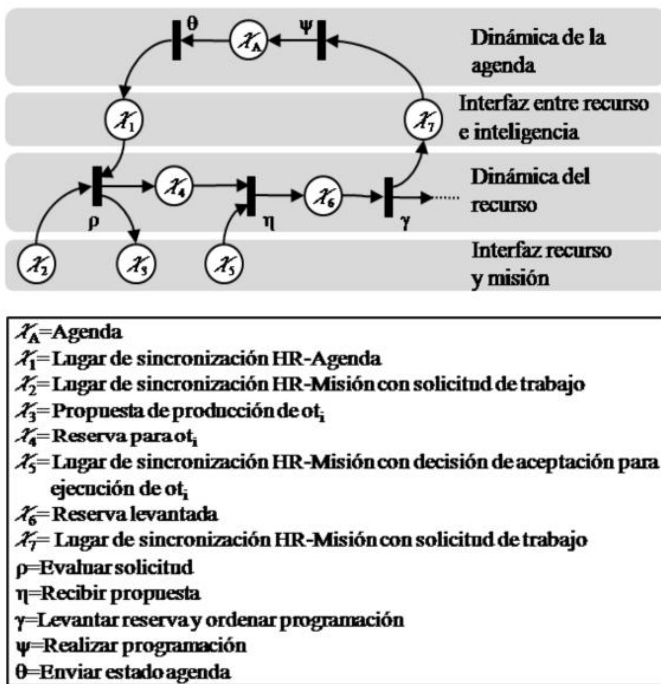


Figura 11. Dinámica de la reprogramación de la agenda del holón recurso.

E. Seguimiento de avances de órdenes de trabajo

El HR realiza una supervisión y monitoreo de la evolución de ejecución de las órdenes de trabajo pertenecientes a su agenda. Por tanto realiza permanentemente la consulta de su agenda para la determinación del estado del HR, obteniendo el avance de la misión en cuanto a sus órdenes de trabajo.

La UP puede comportarse de manera proactiva a través del aprendizaje del desempeño del HR, que le permita por medio del monitoreo del grado de ejecución de las órdenes de trabajo, identificar un estado de operación degradada o un posible incumplimiento de la misión. En consecuencia el HR realiza una comparación cuantitativa de la agenda que es la ejecución esperada, y el desempeño del proceso que es la ejecución real, tal como se ilustra en la Figura 12. La red de Petri de la Fig. 12 incorpora la capacidad de representación de tipos de datos mediante la utilización de variables, para el caso %R y %A. Considerando que el estado del proceso determinado por el avance de la misión es identificado para ser un valor real y por tanto un dato asociado a la marca que complementa la definición de estado de una red de Petri.

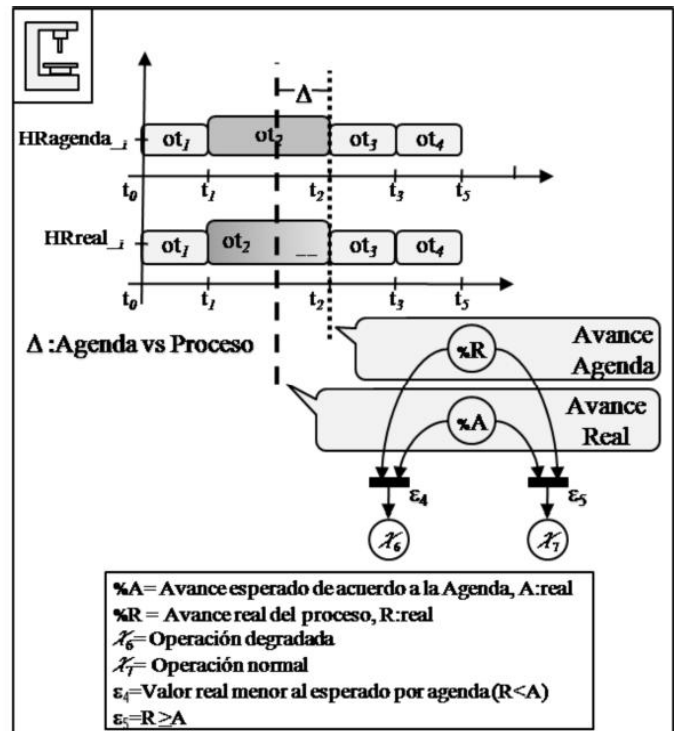


Figura 12. Seguimiento de avances de órdenes de trabajo considerando la agenda y el desempeño del proceso.

Cuando el HR determina que está en riesgo la misión, cancela la continuación de la orden de trabajo y la presenta a los holones recurso que están dentro de la región de cooperación, con el objeto de evaluar que holón puede finalizar la orden de trabajo en riesgo, tal como presenta en la Figura 13.

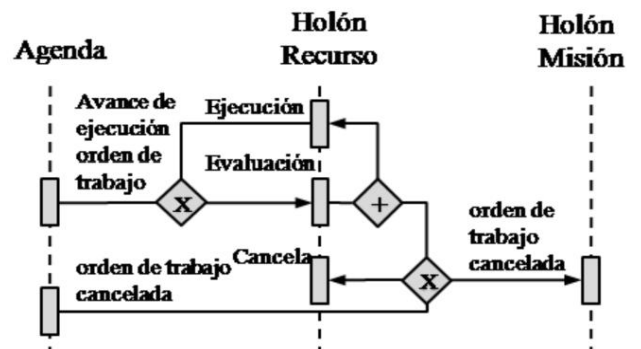


Figura 13. Diagrama de interacción para seguimiento de ejecución de las órdenes de producción.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el concepto de autonomía como atributo básico en el diseño de un sistema de control de manufactura, específicamente en una arquitectura de control holónica basada en unidades de producción. Se ilustraron los elementos básicos que componen el comportamiento autónomo en el HR como unidad fundamental en la composición de la

UP, donde la agenda del recurso es el motor de la toma de decisiones e iniciador de su comportamiento inteligente. Es clara la funcionalidad de las unidades de producción dentro del diseño del control del sistema de manufactura holónica.

Trabajo futuros deberán ser direccionados hacia estudio de los demás atributos holónicos (cooperación, reactividad, proactividad) con el objetivo de llevar a la implementación del HR mediante sistemas Multi-Agente, además de trabajar en la validación y verificación del comportamiento del HR mediante atributos de desempeño impuestos desde la teoría de control. En el análisis de desempeño del comportamiento del HR deberán utilizarse además métodos formales que cubran un modelamiento más general, que permitan un análisis robusto del comportamiento del recurso. En la definición y representación completa del HR se hace necesaria además la formalización de las componentes de la agenda, haciendo referencia a la notación matemática, es decir, los tipos básicos de símbolos y estructuras para la construcción de la agenda y sus componentes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo presenta los resultados de la investigación que realiza la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, como parte del desarrollo del proyecto de investigación "Aplicabilidad del modelo de integración holónico en sistemas a eventos discretos con observabilidad limitada" financiado por Colciencias, contrato No. 021-2007.

REFERENCIAS

- [1] K. Fischer, M. Schillo and J. Siekmann, "Holonc multiagent systems: The foundation for the organization of multiagent systems", Proceedings of the First International Conference on Applications of Holonic and Multiagent Systems (Holo-MAS'03), Springer-Verlag 2003.
- [2] A.W. Colombo, R. Schoop and R. Neubert, "An agent-based intelligent control platform for industrial holonic manufacturing systems", Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 53, Issue 1, Feb. 2006 pp. 322 – 337.
- [3] Mondel and M.K. Tiwari, "Application of an Autonomous Agent Network to Support the Architecture of a Holonic Manufacturing System", Publicación The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Editor Springer London, ISSN 0268-3768 (Print) 1433-3015 (Online), Vol. 20, No. 12, noviembre de 2002.
- [4] E. Chacón, "A Way to Implement Supervisors for Holonic Production Units". Proceedings IFAC'02. Barcelona, July 02.
- [5] D. Kotak, S. Wu, M. Fleetwood and H. Tamoto, "Agent-based holonic design and operations environment for distributed manufacturing", Computers in Industry Vol. 52, Issue 2, October 2003, pp. 95-108.
- [6] H. Van Brussel, J. Wyns, P. Valckenaers, L. Bongaerts and P. Peeters, "Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA", Computers in Industry, Vol. 37, 1998, ISSN:0166-3615.
- [7] E. Chacon, I. Besembel and J.C. Hennet, "Coordination and Optimization in Oil & Gas Production Complexes". Computers in Industry, Vol. 53, Issue 1, January 2004, pp. 17-37.
- [8] P. Farahvash, and T.O. Boucher, "A multi-agent architecture for control of AGV systems", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 20, Issue 6, December 2004, pp. 473-483.
- [9] A. Giret and V. Botti, "Holons and Agents", JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING, Vol. 15 No. 5 pp. 645-659. (2004).
- [10] D. Vasko, F. Maturana, A. Bowles and S. Vandenberg, "Autonomous Cooperative Factory Control", Lecture Notes In Computer Science; Vol. 1881, Proceedings of the Third Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents: Design and Applications of Intelligent Agents, Pages: 156 – 169, 2000, ISBN:3-540-67911-1.
- [11] P. Leitão, "ADACOR: An Agile and Adaptive Holonic Architecture for Manufacturing Control", Facultad de ingeniería d la universidad de Porto, Tesis de doctorado en Electrotecnia e Ingeniería de la Computación. Portugal. (2004).
- [12] Silva, M. (1985). Las Redes de Petri en la Automática y la Informática. Editorial AC. Madrid, España.
- [13] Kurt, J. (1990). Colored Petri Nets: A High-level Language for System Design and Analysis. Lecture Notes in Computer Science, Berlín, Alemania, vol. 483, pp 342-416.
- [14] T. Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", IEEE Proc, Vol. 77, pp. 541-580, April 1989.
- [15] W. Gharieb, "Integrated control for discrete event systems", Electronic and Computer Engineering, 2004. ICEEC apos;04. 2004 International Conference on Electrical, pp. 377 - 382, 2004.
- [16] M.C. Zhou and F. DiCesare, "A Petri net design method for automated manufacturing systems with shared resources", Proceedings., 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 526 - 531 vol.1, 1990.
- [17] Zhang, Lin; B. Mitchell, L. Falzon, M. Davies, L. Kristensen and L. Billington, "Model-based Operational Planning Using Coloured Petri Net", 6th International Command and Control Research and Technology Symposium, pp. 1-15, 2001.
- [18] J. Wyns, "Reference architecture for holonic manufacturing systems -the key to support evolution and reconfiguration-", PhD dissertation, PMA/K.U.Leuven, (1999).
- [19] A. Giret, "ANEMONA: Una metodología Multi-Agente para sistemas holónicos de fabricación", Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. España. (2005).
- [20] B. Johansson, E.J. Williams, T. Alenljung, "Using autonomous modular material handling equipment for manufacturing flexibility", Winter Simulation Conference, Proceedings of the 36th conference on Winter simulation, pp. 1115 - 1121, 2004, ISBN:0-7803-8786-4.
- [21] P. J. Antsaklis, "Defining Intelligent Control", Report of the Task Force on Intelligent Control, P.J Antsaklis, Chair, IEEE Control Systems Magazine, pp. 4-5 & 58-66, June 1994.
- [22] D. Jarvis, J. Jarvis, D. McFarlane, A. Lucas and R. Ronnquist, "Implementing a multi-agent systems approach to collaborative autonomous manufacturing operations", Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings. Vol. 6, 2001 pp. 2803 – 2811.
- [23] B. Scholz-Reiter, J. Kolditz and T. Hildebrandt, "UML as a Basis to Model Autonomous Production Systems". SpringerLink, ISBN 978-0-387-49863-8 (Print) 978-0-387-49864-5 (Online), pp. 553-560, 2007.
- [24] A. Luder, A. Klostermeyer, J. Peschke, A. Bratoukhine, and T. Sauter, "Distributed automation: PABADIS versus HMS", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 1, Issue 1, Feb. 2005

- pp. 31 – 38.
- [25] D.J. Musliner and K.D. Krebsbach, “Adjustable Autonomy in Procedural Control for Refineries”, Appears in Working Notes of the AAAI Spring Symposium on Adjustable Autonomy Stanford University, March 22-24, 1999.
- [26] C. Stylios, G. Langer, B. Lung, Y.T. Hyun, “Research contributions to the modelling and design of Intelligent Manufacturing systems”, 2000.
- [27] P. Leitão, F. Restivo, “ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control”, Computers in industry, vol. 57, no2, pp. 121-130, 2006, ISSN 0166-3615 CODEN.
- [28] S. Harmon, “Steps toward autonomous manufacturing”, Robot Intelligence International, San Diego. Robotics and Automation. Proceedings. 1997 IEEE International Conference on Publication Date: Mar 1997. Volume: 4, On page(s): 1896- 1902.
- [29] G. Langer, “HoMuCS – A methodology and architecture for Holonic Multi-cell Control Systems”, Technical University of Denmark, Ph.D., 1999.
- [30] A. Villa, L. “Autonomy versus efficiency in multi-agent management of extended enterprises”, Publication Journal of Intelligent Manufacturing, Editor Springer Netherlands ISSN 0956-5515 (Print) 1572-8145 (Online).
- [31] L. Bongaerts, “Integration of Scheduling and Control in Holonic Manufacturing Systems”, PhD, KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN.1998.
- [32] L. Bongaerts, L. Monostori, D. McFarlane and B. Kádár, “Hierarchy in distributed shop floor control”, Computers in Industry, Vol. 43 , Issue 2 (October 2000), pp. 123 - 137, ISSN:0166-3615.

Luis Fernando Quintero Henao. Ingeniero de investigación de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín. Integrante del grupo de Automática de la Universidad Nacional de Colombia-GAUNAL. Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Colombia (2003). Estudiante de Maestría en Ingeniería-Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Participación en proyectos de investigación y desarrollo en la línea de automatización industrial, financiados por Colciencias, Dirección de investigación Medellín-DIME y empresas del sector eléctrico y comunicaciones.

Germán Zapata Madrigal. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Integrante del GAUNAL: Grupo de Automática de la Universidad Nacional de Colombia, Categoría A de Colciencias. Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia (1991). Especialista en Gerencia de la Calidad de la Universidad de Antioquia (1997). Magíster en Automática de la Universidad del Valle (2004). Es miembro del Instituto de Ingenieros Electricistas y electrónicos, IEEE. Legal Main Contact Cisco Academy Training Center UN - Colombia Ecuador, Cisco Networking Academy Program. El área de énfasis de su trabajo investigativo se ha orientado a los Sistemas Dinámicos a Eventos Discretos, Automatización Electrónica de Procesos Eléctricos e Industriales, Sistema de producción holónica, y sistemas de comunicación. Ha participado en proyectos de investigación orientados a la automatización de procesos industriales, networking, implementación de metodologías formales en la especificación de sistema de control y automatización integrada de sistemas de manufactura. Actualmente adelanta estudios en el programa de doctorado en Ciencias aplicadas de la Universidad de los Andes – Mérida.

Demetrio Arturo Ovalle Carranza. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Director de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Director del GIDIA: Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, Categoría A de Colciencias. Ingeniero de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia (1984). Magíster en Informática del Institut National Polytechnique de Grenoble, Francia (1987). Doctor en Informática de la Université Joseph Fourier, Francia (1991). El área de énfasis de su investigación es Inteligencia Artificial, más específicamente Sistemas Híbridos e Inteligentes integrando Redes Neuronales, Sistemas de Lógica Difusa y Sistemas MultiAgente aplicados a la Simulación de los Mercados de Energía y a la Detección de Fallas en Líneas de Transmisión. Otros tópicos de investigación que trabaja actualmente son: Inteligencia Artificial en Educación, Sistemas Tutoriales Inteligentes, Sistemas basados en CBR (CaseBased Reasoning) y Técnicas de Planificación Inteligente aplicadas a la Construcción de Sistemas de Composición de Servicios Web.

Edgar Chacon Ramírez. Profesor titular y coordinador del programa de doctorado en el departamento de computación de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Ingeniero de sistemas de la Universidad de los Andes, Venezuela. Diploma en Automática de Université Paul Sabatier, Toluse, Francia. Doctor en Ingeniería en Automática de la Université Paul Sabatier, Toluse, Francia. Es miembro desde 1992 del Instituto de Ingenieros Electricistas y electrónicos, IEEE y de la Sociedad de Sistemas y automatización desde 1999. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con las áreas de Sistemas Híbridos, Sistemas Jerárquicos, Automatización Integrada LaSDAI - (Laboratorio de Sistemas Discretos en Automatización Industrial). Generación de esquemas de control supervisorio para sistemas de producción continua y procesos por lotes. Proyecto Ecos - Nord. Redes de producción. Convenio de cooperación financiado por el FONACIT (Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Investigación) del estado venezolano y el CNRS (Centre Nationale de la Recherche Scientifique) de Francia orientado al desarrollo de modelos de negociación entre sistemas de producción. Otros desarrollos Janus Sistemas. Empresa ubicada en el CPTM (Parque Tecnológico de Mérida). Actualmente trabaja en las áreas de Automatización integrada de sistemas de producción y sistemas holónicos de producción.

Cisco Academy Training Center - National University of Colombia

[Presentation and history]

IT Essentials

IT Essentials I: PC Hardware and Software
IT Essentials II: Network Operating Systems

Cisco Certified Network Associate

CCNA 1: Network Fundamentals
CCNA 2: Routing Protocols and Concepts
CCNA 3: LAN Switching and Wireless
CCNA 4: Accessing the WAN

Cisco Certified Network Professional

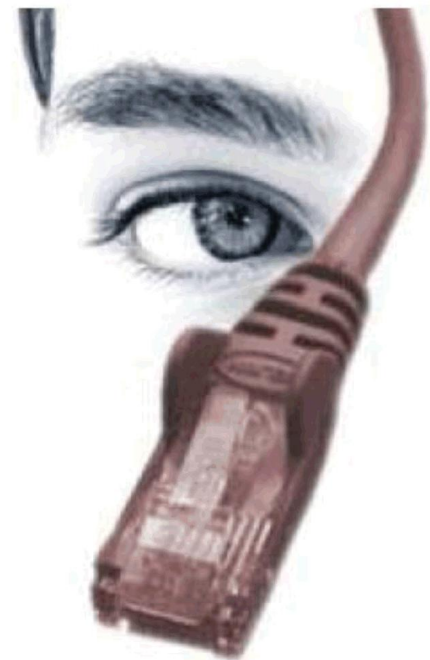
CCNP Building Scalable Internetworks
CCNP Implementing Secure Converged Wide Area Networks
CCNP Building Multilayer Switched Networks
CCNP Optimizing Converged Networks

Network Security

Fundamentals of Wireless LANs

Telephony over IP

Voice over IP



Contact

Faculty of Minas. Carrera 80 65-223 BI M3-211
Web site: <http://cnap.unalmed.edu.co>
E-mail: catc@unalmed.edu.co
Phone: +574 4255268
Fax: +574 2341002
Medellin, Colombia