

# Arquitectura de Automatización Basada en Holón Industrial

## (Automation Architecture Based on Industrial Holón)

Andrickson, José<sup>[1]</sup>; Chacón, Edgar<sup>[2]</sup>; Amaya, Jhon<sup>[3]</sup>; Pabón, María<sup>[4]</sup>; Ramírez, Alba<sup>[1]</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Experimental del Táchira, Decanato de Investigación, Laboratorio de Instrumentación, Control y Automatización, Táchira – Venezuela

<sup>2</sup>Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Sistemas Discretos, automatización e Integración. Mérida – Venezuela

<sup>3</sup>Universidad Nacional Experimental del Táchira, Decanato de Investigación, Laboratorios de Computación de Alto Rendimiento. Táchira – Venezuela

<sup>4</sup>Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Laboratorios de Investigación y Desarrollo de Automatización e Instrumentación. Mérida – Venezuela

Correo electrónico: [andrick@unet.edu.ve](mailto:andrick@unet.edu.ve), [alba@unet.edu.ve](mailto:alba@unet.edu.ve), [echacon@ula.ve](mailto:echacon@ula.ve), [jedgar@unet.edu.ve](mailto:jedgar@unet.edu.ve), [mariatpabon@ula.ve](mailto:mariatpabon@ula.ve)

## RESUMEN

La arquitectura de automatización basada en holón industrial, nace como una contribución a los procesos de automatización modernos. El planteamiento se organiza en tres aspectos: la orientación de la producción (producto, proceso o ambos), los sistemas distribuidos y auto-organizados de configuración dinámica, y los sistemas de manejo de producción (Sistemas Holónicos, Sistemas basados en Agentes, Sistemas Computacionales). La arquitectura propuesta está formada por tres componentes: Núcleo, Dispositivo Virtual de Manufactura (DVM), y Recurso; cuya finalidad es formar un sistema flexible que se adapte a las cambiantes exigencias del mercado y las tendencias de las empresas de manufactura actual. El DVM se compone de un conjunto de clases y métodos que permite la implementación de la Unidad de Producción.

**Palabras Clave:** Arquitecturas de automatización, sistemas dinámicos, sistemas de eventos Discretos.

## ABSTRACT

The automation architecture based on holons, was created as a contribution to modern automation process. The approach is organized into three areas: production orientation (product, process or both), distributed systems and self-organizing dynamic configuration, and production management systems (holonic systems, agent-based systems and computer systems). The architecture proposed consists of three components: Core, Virtual Manufacturing Device (DVM), and Resource, which aims to form a flexible system that adapts to changing market demands and trends of current manufacturing companies. The DVM is composed of a set of classes and methods in order to allow the implementation of the production unit.

**Key Words:** automation architecture, dynamic processes, discrete event systems.

## INTRODUCCIÓN

Las exigencias del mercado, globalización, y complejidad de las líneas de producción, llevan a las empresas a adoptar cambios tecnológicos y nuevos paradigmas de automatización que les permitan desarrollar sistemas eficientes de procesos. De aquí que nace la propuesta de la arquitectura de automatización basada en sistemas holónicos para procesos industriales. Entendiendo por sistemas holónicos, aquellos sistemas autónomos y cooperantes, con capacidades de formar jerarquías dinámicas temporales; reconfigurables en base a eventos internos o externos.

Entre las principales referencias tomadas para establecer una cronología evolutiva de los procesos automatizados tenemos: las arquitecturas tradicionales de sistemas integrados por computadoras (Cimosa, 1996), las propuestas de estándares internacionales (ANSI/ISA-88, 1995), (ANSI/ISA-S95, 2000), las propuestas en el desarrollo de la información y la computación (OMAC API, 2001; Osec, 1996; Osaca, 1999) y los planteamientos modernos para sistemas de producción (Padabis, 2010; Wyns, 1999); de lo cual se genera una investigación nutrida por la filosofía de jerarquías dinámicas.

La propuesta basada en unidad de producción holónica, llamada en adelante simplemente unidad de producción, puede ser implementada en empresas constituidas, virtuales o proyectos de automatización. Su estructura está formada por un conjunto de sistemas autónomos y cooperantes (holones), que poseen *recursos* físicos y sistemas de tomas de decisiones, las cuales son implementadas para definir inteligencia distribuida a través de técnicas modernas de inteligencia artificial.

Una unidad de producción se encuentra constituida por al menos un holón, y sus principales componentes son: el sistema de gestión (*núcleo*); el sistema de manejo de métodos y toma de decisiones sobre los recursos llamados Dispositivo Virtual de Manufactura (*DVM*); y el sistema de transformación de materia prima en producto, llamado *recurso*. El *DVM* contiene el conjunto de clases que permite implantar y/o implementar el holón industrial.

Los sistemas holónicos son abordados desde diversas perspectivas, de las cuales podemos nombrar: el enfoque industrial (Christensen, 1994), donde se establece un sistema de supervisión y de control de proceso, usualmente utilizando bloques funcionales (norma IEC 61499). El enfoque computacional donde el holón es definido por un conjunto de aplicaciones computacionales orientadas a objetos y aplicaciones distribuidas, con un *recurso* físico representados

informáticamente. El enfoque de agentes, utilizado en la implantación de holones, define una inteligencia local y distribuida de los mismos y su entorno de cooperación. La propuesta de unidades de producción permite establecer una arquitectura genérica para ser aplicada en cualquiera de los enfoques definidos.

## MÉTODO

La investigación se basa en una arquitectura de automatización para sistemas de integración, tomando como referencia los sistemas holónicos, multiagentes, sistemas auto-organizados y sistemas de inteligencia artificial distribuida, los cuales son considerados como nuevos paradigmas de automatización. A continuación se describe la arquitectura de la unidad de producción basada en el holón industrial y se plantea el modelo de la misma aplicado a los procesos industriales, conservando todas las características de un holón.

### Arquitectura de la Unidad de Producción

Conceptualmente, el holón posee una arquitectura de referencia compuesta con un *producto*, una *orden* y unos *recursos* (Wyns, 1999) cuyas principales características son la autonomía y la cooperación (Holonc Manufacture Systems, 2009). Varios autores (Chacón y De Zarrazin, 2004; Flether, *et al.* 2000; Giret y Botti, 2004) han planteado una estructura basada en un sistema de tres componentes para la implantación de los holones (toma de decisión, intercambio de información, y control de recursos), donde el holón representa el elemento fundamental del proceso y la filosofía de manufactura. En la figura 1 se muestran los elementos básicos de la unidad de producción, donde la unidad de producción posee un núcleo, un *DVM* y un *recurso* dividido en un aspecto físico, y uno lógico.

Los sistemas holónicos poseen una estructura organizativa auto-similar y auto-organizada. La autonomía le da la capacidad de desarrollar un conjunto de tareas para alcanzar sus metas propias, y por medio de la cooperación comunicarse e interactuar con otros elementos de su entorno, y así cumplir con metas comunes. El compromiso entre la autonomía y la cooperación de las unidades de producción se establece al crearse las holarquías o dominios de cooperación.

Los sistemas holónicos industriales se enmarcan dentro de los sistemas de inteligencia artificial distribuida (DAI) (Sosa y Ramos, 1999) bajo el principio de empresas de manufacturas flexibles. Cada unidad de producción constituye un elemento dentro de su dominio de cooperación, que modifica su comportamiento (planificación y programación dinámica) en función a las

necesidades del sistema a través de la negociación automatizada (Albin, 1992). El sistema de toma de decisiones define un conjunto de métodos y tareas sobre los recursos. Los sistemas holónicos por ser sistemas distribuidos, se establecen estructuralmente como una jerarquía dinámica (Tharumarajah, 2003), lo cual es resultado de la evolución de los sistemas metamórficos (Maturana, *et al.* 1999). Cada holón puede ser instanciado por una o varias holarquías, que por ser dinámicas poseen organizaciones temporales, es decir, permanecen mientras se cumple con el objetivo de producción.

Los holones definen la filosofía de los sistemas industriales distribuidos, los cuales son implantados con: agentes (Wooldridge y Jennings, 1995), bloques funcionales (Fletcher *et al.* 2000; Christensen, 1994) u otra técnica computacional que permita implementar los sistemas de toma de decisión. El holón básico o elemental posee un *recurso* físico que está en contacto directo con la producción y un sistema de toma de decisiones, mientras que en el holón compuesto, el *recurso* del holón es lógico.

La unidad de producción está compuesta por un *núcleo*, un *DVM*, y un *recurso*. El *núcleo* posee la misión (M) que representa la orden negociada, la ingeniería (I) que representa los métodos a ejecutar y el conocimiento

de producción. El *recurso* (R) informático y físico se encarga del manejo de la información del proceso y de la transformación de la materia prima respectivamente. El *DVM* constituye el elemento de implementación de la arquitectura, donde se consideran los aspectos de manejo y ejecución de sistemas que conjuntamente con los recursos físicos llevan a cabo la producción. La figura 2 muestra la relación existente entre la unidad de producción y un proceso industrial.

Dentro del *DVM* encontramos tres clases que definen a grandes rasgos su comportamiento: la planificación que se encuentra relacionada con el conocimiento de la producción, la configuración relacionada con el conocimiento del proceso y métodos de producción y el control que relaciona el conocimiento de ejecución del proceso.

De la asociación del *núcleo* y el *DVM* se establecen las estrategias de producción y los métodos del proceso. De la misma manera, el *Recurso* físico asociado al *DVM* define detalladamente los métodos de producción y la configuración de recursos y métodos.

El *núcleo* es el encargado de la gestión de la unidad de producción, por lo tanto, tiene relación directa con la cadena de suministro, el manejo de información de

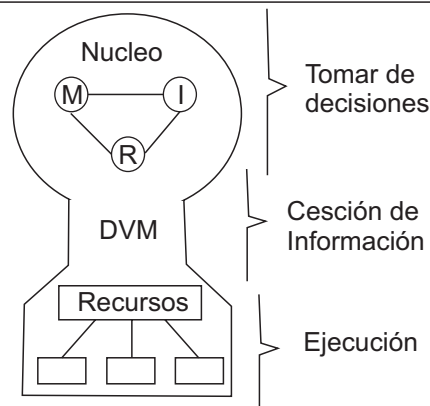


Figura 1. Constitución de una unidad de producción.

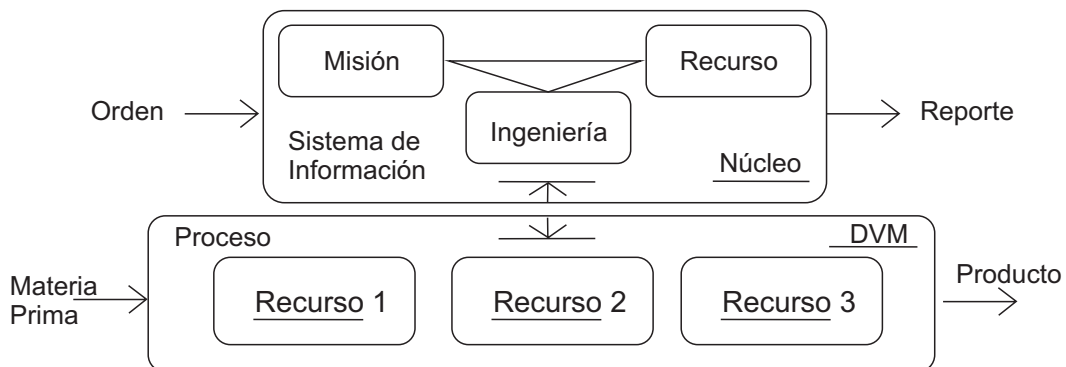


Figura 2. Unidad de producción en un proceso de producción industrial.

producción y las finanzas de la empresa. Mientras que el *DVM* es el encargado del aspecto operativo, es decir, todas las actividades y estados que definen las condiciones de la unidad de producción, además, posee las acciones del sistema que le sirven para evolucionar entre los diferentes estados, tomando en consideración los eventos presentes y futuros.

Dentro de la unidad de producción, suceden de manera general dos procesos, uno que es la concepción de la producción, la cual se produce dentro del *núcleo* del holón, y el otro corresponde a la elaboración de la producción que se desarrolla a través del *DVM*. En el primero proceso se define: qué, cómo y cuándo se elabora el producto, mientras que en el segundo proceso, se define el aspecto lógico de implementación como: la planificación, supervisión, configuración y ejecución de la producción. Además, la unidad de producción maneja dos aspectos: el estructural que define la forma como está constituida, donde se establecen las clases y sus interacciones. El otro aspecto es el funcional donde se establece su implementación, se define el flujo de información y producto, permitiendo el desarrollo del modelo integral de la empresa. Es importante destacar que las unidades de producción se agrupan formando nuevas unidades de producción capaces de resolver problemas de mayor complejidad, adquiriendo un

comportamiento emergente con múltiples soluciones a un problema. De esta manera se considera que la unidad de producción hereda todas las cualidades del holón, lo cual podemos observar en la figura 3.

En el caso de alta densidad de elementos o de coexistir varias unidades de producción, una de estas se especializa como representante de la holarquía para comunicar, coordinar, ejecutar las actividades y cooperar con otras unidades, donde el proceso de negociación es el permite los acuerdos internos y externos.

### Modelo de la unidad de producción

Los elementos que componen la unidad de producción se presentan en la figura 4, donde la orden es transformada en misión de producción, a través de la negociación de los objetivos de producción, seguidamente la misión es planificada, programada, evaluada, ejecutada y controlada.

En la figura 5, representan un sistema de producción, donde la información y los recursos se unen para crear el producto. Dentro de este esquema, la negociación constituye el aspecto fundamental de la toma de decisión y la formación de la unidad. Aquí, la materia prima es: adquirida, almacenada, transportada y transformada para obtener un producto intermedio o final en la producción.

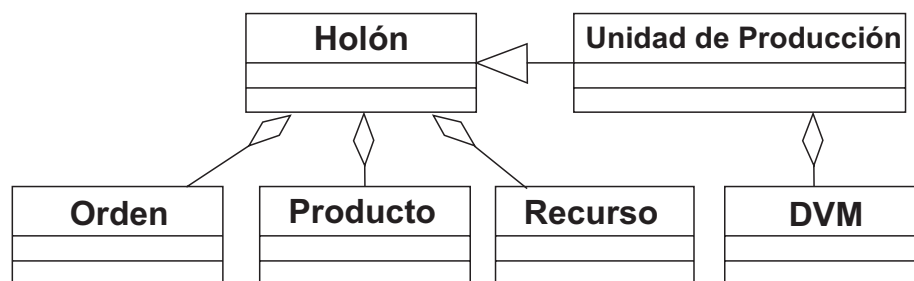


Figura 3. Relación entre el holón y la unidad de producción

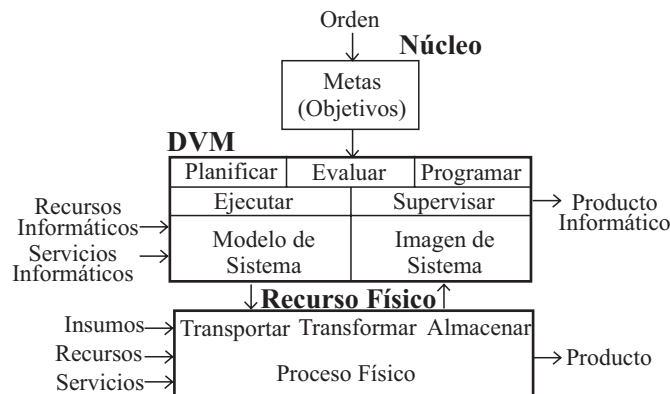


Figura 4. Componentes de la unidad de producción

En la figura 5, representan un sistema de producción, donde la información y los recursos se unen para crear el producto. Dentro de este esquema, la negociación constituye el aspecto fundamental de la toma de decisión y la formación de la unidad. Aquí, la materia prima es: adquirida, almacenada, transportada y transformada para obtener un producto intermedio o final en la producción.

**Componentes de la unidad de producción**

Como ya se mencionó anteriormente, la unidad producción propuesta, se agrupa en *núcleo*, *DVM* y *recurso*, donde cada clase está asociada a un conjunto de sub-clases que ejecutan las funciones lógicas y de producción.

El *núcleo*, está compuesto por tres clases fundamentales (*misión*, *ingeniería* y *recurso*). La orden de producción está asociada a la clase Misión a través del negociador, que define los objetivos de la unidad de producción y el cronograma de actividades, por tanto, la misión es resultado de la negociación, a su vez, la misión está asociada a la planificación, el cronograma, los métodos y el supervisor. En el cronograma se manejan todos los documentos de la unidad de producción, la supervisión se encarga del manejo del proceso en función

al modelo (modelo ideal del sistema) y la imagen (comportamiento del sistema en tiempo real) de la unidad de producción. Por otra parte, el negociador junto a la configuración establecen el modo inicial y de funcionamiento de los recursos, procesos y métodos. En la figura 6, se presenta el modelo UML de clases simplificado de la unidad de producción.

La unidad de producción es un elemento atómico y una breve descripción de su composición se presenta a continuación:

• **El núcleo**

La unidad de producción es representada por el manejo de los recursos y por el sistema de toma de decisiones. El sistema de toma de decisión está asociado al conocimiento de producción (proceso), y al sistema de negociación y optimización que evalúa las mejores condiciones de acuerdos, reglas, métodos, y tiempos del proceso. El *núcleo* tiene conocimiento de la factibilidad de la orden de producción y del radio de acción o dominio(s) a los cuales pertenece la unidad de producción. De igual manera posee conocimiento de sus atribuciones. El núcleo es el elemento de más alta jerarquía dentro del sistema de toma de decisiones de la unidad de producción.

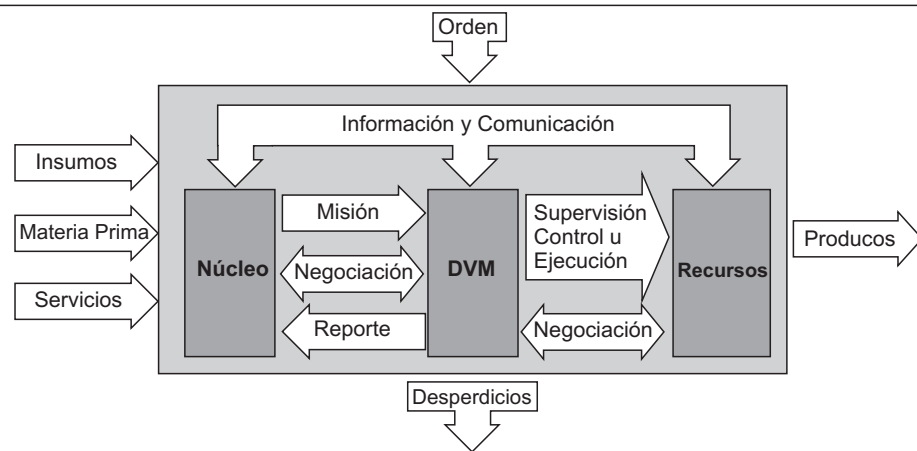


Figura 5. Sistema de producción holónico

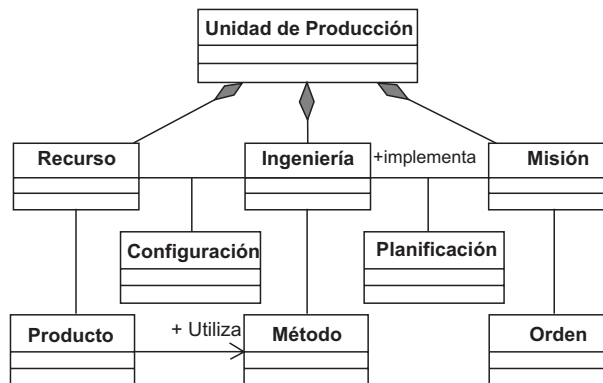


Figura 6. Diagrama de clases simplificado de la unidad de producción

• **El Dispositivo virtual de manufactura (DVM).**

Implementa las atribuciones de la unidad de producción, y es quien mantiene el flujo de trabajo entre los componentes para una buena integración. A través del DVM, se puede gestionar, planificar, coordinar, configurar, supervisar y controlar, pero además se puede monitorear, comunicar y negociar para llegar a acuerdos de producción. El DVM es quien establece: cuándo, qué, y cómo se ejecutará la misión dentro de la unidad de producción y entre sus principales atribuciones encontramos la de comunicar su capacidad y disponibilidad a otros DVM. El DVM contiene el grupo de clases que permiten definir un marco de trabajo o “framework” de automatización de la arquitectura del holón industrial.

• **El recurso.**

El recurso representa todos los elementos físicos, informáticos y humanos que tienen relación directa con la ejecución de producción. Los Recursos se subclasifican en: equipos, insumos, servicios, y humanos. Algunos atributos del recurso son la unidad de medida que establece y cuantifica la cantidad y disponibilidad. Dentro del recurso se implementan los métodos que permiten reservar, usar y liberar los equipos y máquinas. Los recursos se evalúan a través del detector de eventos y se supervisan por medio de sus estados y a través de ellos se determina el estado actual del proceso. El estado del recurso establece la imagen de la unidad de producción, mientras que el conocimiento general y de sus métodos se

establece en el modelo, y a través de éstos se supervisa y controla la producción. Los recursos son configurados y evaluados a través del DVM, por lo cual usualmente pueden ser considerados parte de éste.

**Modelo de clases del DVM.**

Una arquitectura de automatización se representa a través de un conjunto de diagramas de clases y estados que definen su comportamiento estático y dinámico. Todos los diagramas de estado en un modelo dinámico pueden ejecutarse de manera concurrente a través de eventos compartidos. Las principales clases para la arquitectura planteada son: planificador, programador, supervisor, controlador, negociador y recurso. En la figura 7 se presenta un esquema generalizado de clases del DVM de la unidad de producción.

Una breve descripción de cada una de las clases presentes en la figura 7 se hace a continuación:

- **Planificación:** Define la ejecución del proceso, reserva los recursos necesarios, y establece el método general de producción.
- **Programación:** Especifica los equipos e insumos necesarios y el método para cada equipo, así como la secuencia de producción. Esta clase está asociada a la agenda de producción.
- **Supervisión:** Determina la condición de los equipos y la evolución de la producción.
- **Control:** Representa el conjunto de actividades para la ejecución del proceso sobre los recursos, asegurando el correcto funcionamiento del sistema

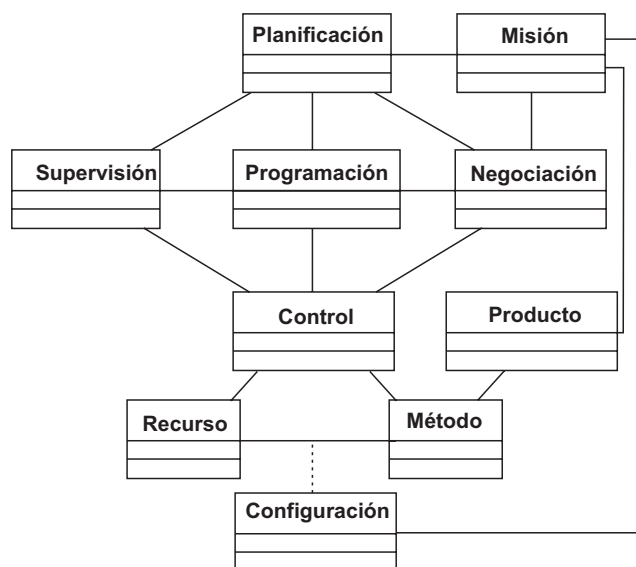


Figura 7. Diagrama de Clases de la Unidad de Producción.

con una producción “justo a tiempo”.

- **Configuración:** Establece las relaciones de métodos y recursos de proceso, y está relacionado a las negociaciones y acuerdos de la unidad de producción.
- **Recurso:** Define el conjunto de actividades para la recolección de información (observa e informa sobre algún cambio) y genera acciones sobre el proceso.

### Dominios de la unidad de producción

La unidad de producción representa un concepto abstracto de automatización, donde un conjunto de clases y métodos interactúan entre sí con la finalidad de cumplir con los objetivos de producción. Cada unidad posee funcionalidades de jerarquía dinámica (sistema jerárquico re-configurado dinámicamente), agrupándose en uno o varios dominios de cooperación temporal.

La estructura organizacional de la unidad de producción se define en tres dominios de cooperación de auto-similitud, con jerarquías dinámicas auto-contenidas e integrada a través de la información y comunicación, estableciendo una solución a la integración de sistemas heterogéneos, que va desde el aspecto físico hasta la integración de software.

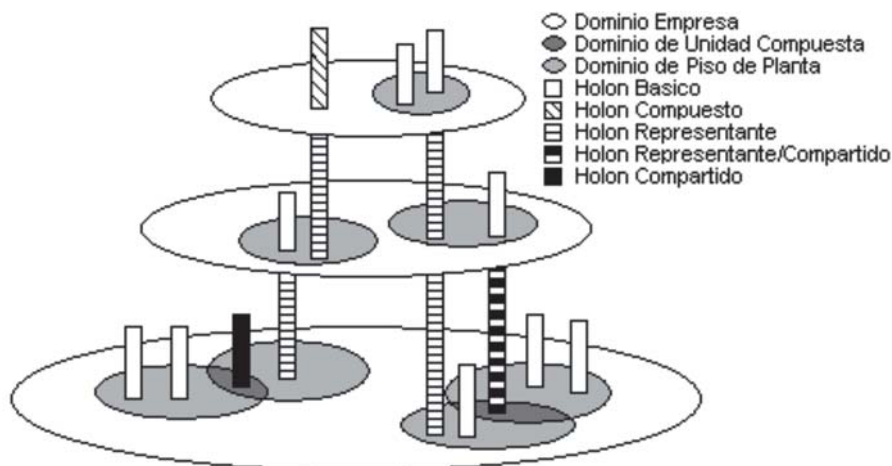
Los dominios representan la formación de las unidades de producción dentro de una empresa, en otras palabras, un dominio representa el ámbito o entorno donde opera un conjunto de unidades de producción de similares características funcionales. Los dominios se pueden clasificar de acuerdo a la cantidad de datos que

maneja, tiempo de respuesta, capacidad del recurso y nivel de conocimiento o inteligencia, en base a esto, tenemos: dominio de empresa, dominio de unidad compuesta y dominio de piso de planta o de unidades de producción. El dominio de piso de planta tiene por mínimo una unidad de producción básica y el dominio de producción compuesto contiene una o varias unidades de producción de plantas, mientras que el dominio de empresa está formado por uno o más dominios de producción compuesto, como se observa en la figura 8.

Los holones o unidades de producción que conforman los diferentes dominios, tomando como referencia (Rodríguez *et al.* 2003) se clasifican en:

- **Básicos:** actúan de manera independiente dentro de un dominio, pero con capacidad de acuerdos con otras unidades.
- **Compuestos:** poseen varias funciones ya que pertenecen a más de un dominio.
- **Representante:** actúa como el enlace de un grupo de holones o unidades con otro grupo perteneciente a otra empresa.
- **Compartido:** pertenece a dos o más empresas a la vez.

Cada dominio posee su propia estructura organizacional y funcional, lo cual se logra a través del conocimiento de sí mismo y de su entorno. Estos dominios se definen por los acuerdos negociados. En la figura 8, se muestra un esquema descriptivo de los dominios de cooperación y las unidades de producción.



**Figura 8.** Dominios para una Unidad de Producción

### Arquitectura dinámica

Los sistemas de producción tradicionales se basan en arquitecturas fijas, generalmente jerárquicas. La evolución de estos condujo al desarrollo de arquitecturas de automatización flexibles, como es el caso de las arquitecturas metamórficas (Maturana *et al.* 1999) y arquitecturas dinámicas (Tharumarajah, 2003), las cuales poseen cualidades de auto-configuración y auto-organización.

La dinámica del sistema se encuentra en (re)definir la forma estructural y/o funcional del sistema, a través del agrupamiento de unidades de producción con el fin de cumplir con la misión de la empresa. Organizacionalmente, los sistemas dinámicos se definen desde nivel de empresa y se crean desde el nivel de proceso, en este sentido, la auto-organización de las unidades de producción genera un sistema de configuración compleja y de comportamiento emergente.

La negociación entre los elementos de la arquitectura como lo propone (Sosa y Ramos, 1999) y (Tharumarajah, 2003) es un aspecto fundamental en el desarrollo de sistemas dinámicos. En la actualidad las comunidades de sistemas multi-agentes y sistemas holónicos están a la vanguardia en propuestas e implementaciones de empresas de (re)configuración dinámica (Tharumarajah, 2003).

### Evolución de la unidad de producción

Una forma de demostrar la supervisión y control de la orden dentro de la unidad de producción, se logra a través de su simulación de un sistema a eventos discretos. Por lo tanto, el sistema de producción planteado es representado por un modelo en redes de Petri, como se muestra en la figura 9. Este modelo es una representación abstracta del comportamiento dinámico del sistema, donde se sincronizan los métodos, recursos y acuerdos de producción. Aquí se observa que el proceso de negociación está involucrado en todo el proceso de producción.

### RESULTADOS

La arquitectura de automatización planteada se basa en sistemas autónomos, distribuidos, reconfigurables, cooperantes y autónomos; considerando estas premisas, se hace la implementación de la propuesta sobre una fábrica de galletas, la cual posee tres estaciones (estación de fabricación, estación de inyección o control de dosificación y estación de gestión de materia prima). En cada una se coordinan los métodos y recursos necesarios para su correcto funcionamiento, con este ejemplo se prueba la factibilidad de implementación de la arquitectura y su funcionamiento haciendo uso de herramientas industriales como el caso de Intouch.

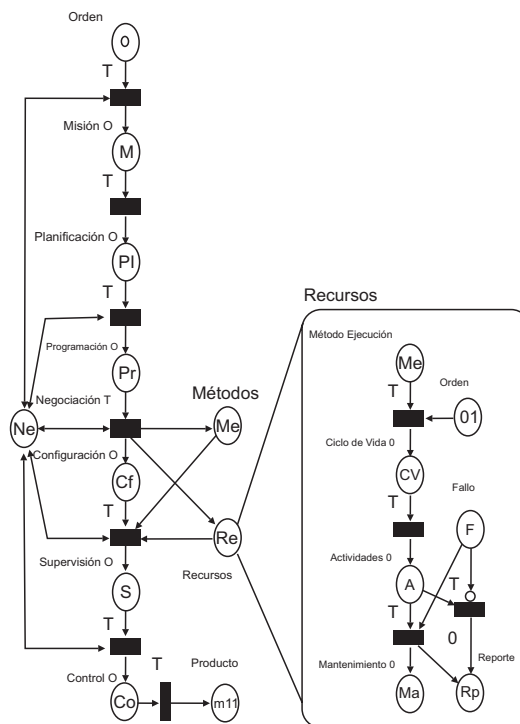


Figura 9. Red de petri de la unidad de producción



Como resultado del planteamiento, se hizo la implementación de una plataforma de integración industrial holónica basada en sistemas abiertos para el laboratorio de automatización de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), para ello, se definió una arquitectura de integración de procesos, una red de control, supervisión y gestión de información, y se configuraron los recursos y métodos de producción, para lo cual se seleccionó un PLC, un controlador industrial, y tres módulos didácticos de proceso. Se trabajó con sistemas abiertos (OPC, modbus, DDE, Suitelink), que unen los niveles de control de proceso, MES (SCADA/HMI) y ERP (Gestión). Los programas utilizados (Intouch, LabView, Matlab y TwidoSuite), son conectados con los procesos para desarrollar programas de supervisión y gestión de la interfaz humano-máquina (HMI, por sus siglas en inglés). Durante la implementación se validó la plataforma de integración

desde el nivel de instrumentación hasta gestión. Un esquema de la arquitectura desarrollada se presenta en la figura 10.

Para el desarrollo se considera la simulación de una fábrica de galletas con control de métodos, presión, nivel del tanque y un sistema de gestión de datos.

La arquitectura planteada consta de tres estaciones de trabajo o unidades de producción holónicas. La estación 1, posee el mayor rendimiento computacional, por lo cual se le asigna mayores atribuciones en el manejo de gestión de datos y supervisión de red, en ella se implementa un sistema simulado de fábrica de galletas, la cual posee tres métodos de fabricación compartiendo los mismos recursos físicos.

Los recursos físicos asociados a esta estación son: PLC, variador de velocidad y motor. En la figura 11 se muestra la HMI, que a su vez tiene asociado el sistema de manejo y ejecución (MES) de la fábrica de galletas.

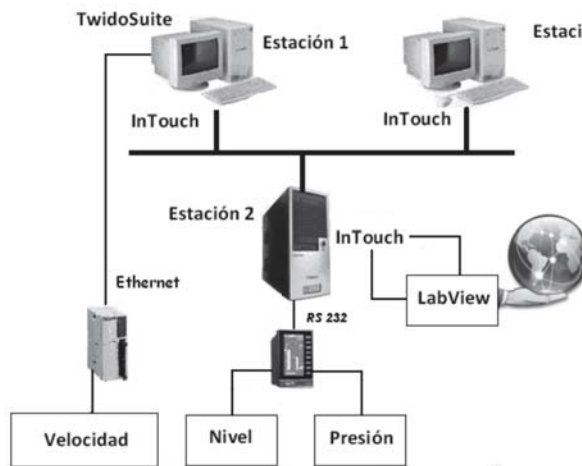


Figura 10. Arquitectura de automatización implementada con sistema abierto.

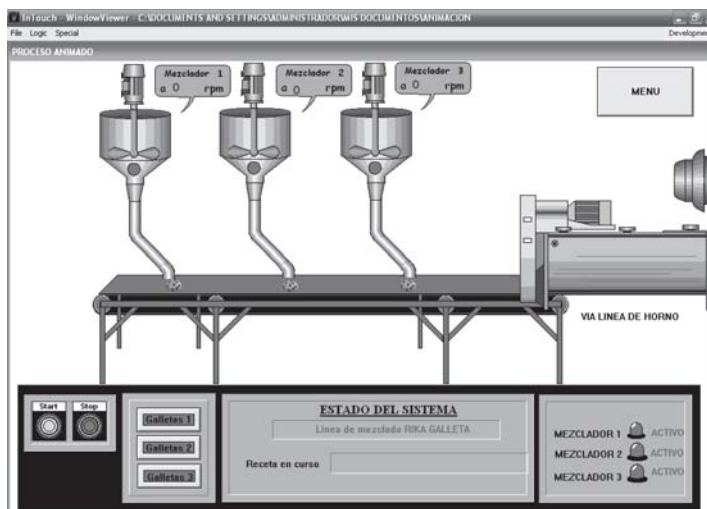


Figura 11. Sistema de fabricación de galletas.

La estación 2, está asociada a un sistema de manejo de nivel de un tanque de materia prima para la galleta. Igualmente posee un sistema MES/HMI/SCADA conectado al sistema de control local implementado con un controlador PID, desarrollado sobre un controlador industrial ASCON. El desarrollo de la implementación de la inteligencia de la estación se establece sobre el programa InTouch a través de la configuración de los *scripts*, donde el usuario ingresa la programación que define la inteligencia de las unidades de producción. En la

figura 12 se muestra el sistema de control de nivel.

En la estación 3, se presenta el sistema de inyección de mezcla de la galleta sobre la bandeja de horneado. Allí se tiene entonces un sistema de control de presión, que posee un sistema MES/HMI/SACADA y un control PID a través del ASCON. Su interfaz gráfica se presenta en la figura 13.

El controlador ASCON y su conexión física se puede observar en la figura 14

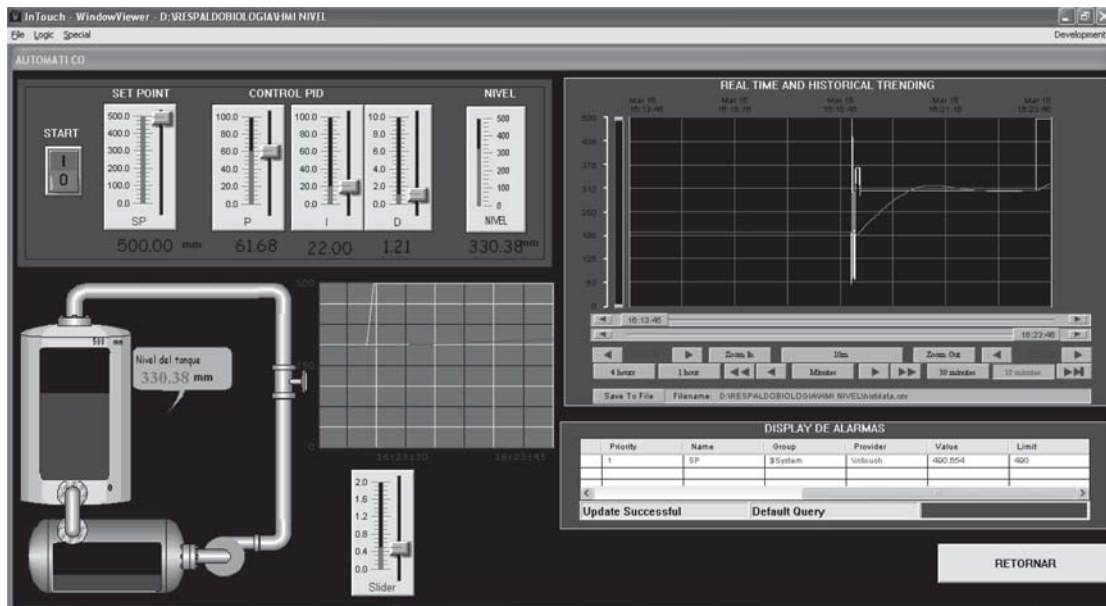


Figura 12. Sistema de control de nivel de tanque.

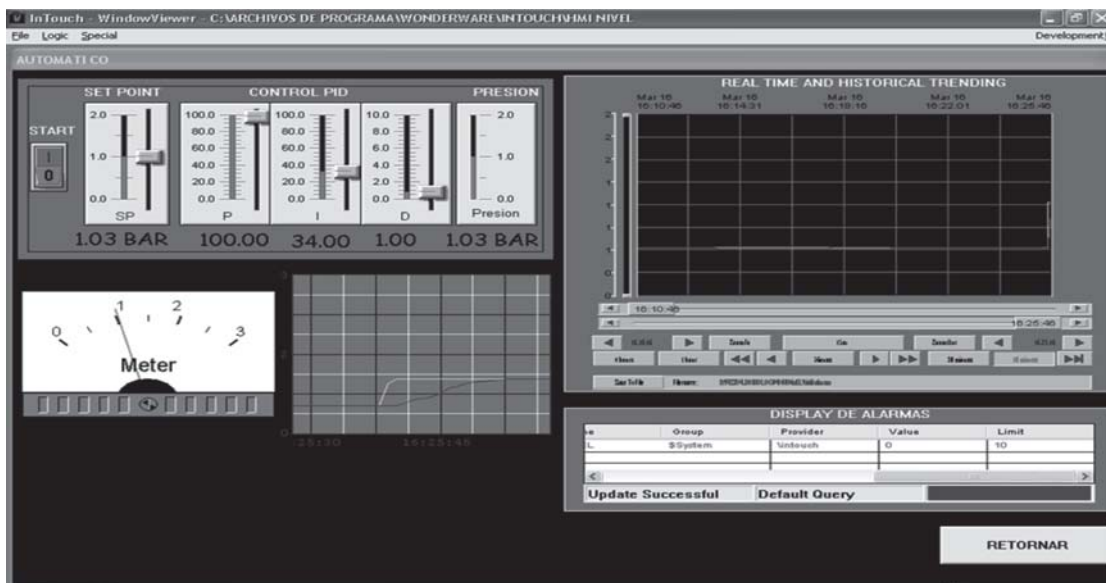
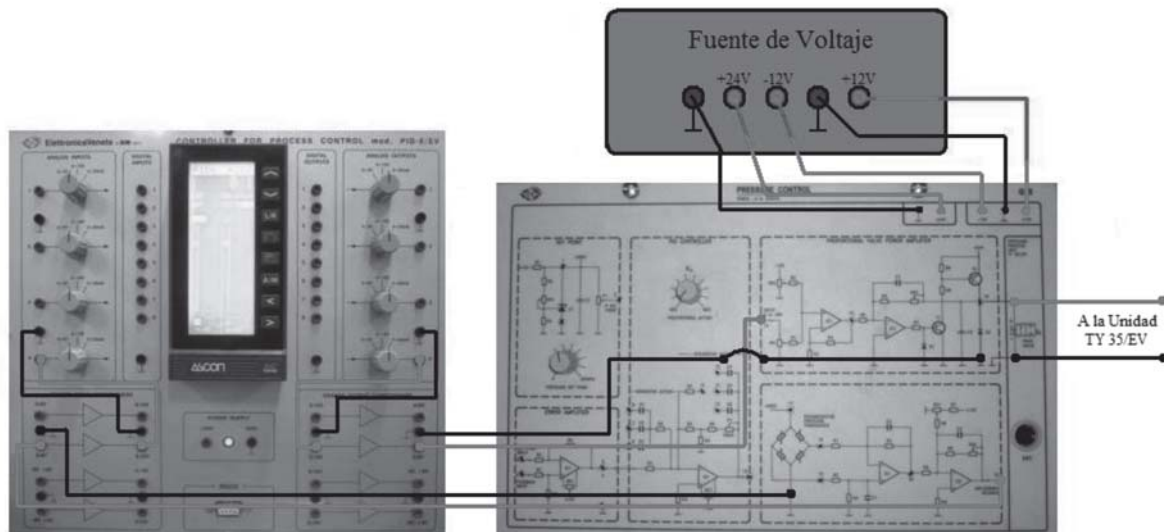


Figura 12. Sistema de control de nivel de tanque.



**Figura 14.** Controlador Industrial ASCON, para el Control de Presión.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A través de la arquitectura de Unidad de Producción holónica, se desarrolla un sistema inteligente de control distribuido, descentralizado, flexible y reconfigurable; donde la característica fundamental es la comunicación entre los componentes del sistema, que permite intercambiar información y sincronizar actividades acorde a su meta global o de empresa.

Para probar la arquitectura planteada se implementaron tres estaciones de trabajo relacionadas entre sí con el fin de llevar a cabo el proceso de fabricación de galletas. La estación 1 controla el proceso principal y los métodos de fabricación. En la estación 2 se controla el nivel de los tanques de dosificación de la mezcla para la galleta y en la estación 3, se tiene el sistema de control de presión para la inyección de mezcla de la galleta sobre las bandejas de horneado.

Cada estación posee su propio sistema de control y supervisión de procesos, además un sistema de toma de decisiones que se desarrolló de manera particular para cada ambiente de programación. También, la comunicación en el entorno heterogéneo se produce de manera transparente a través de los protocolos DDE y Modbus. Vale mencionar que en la estación 1, se establece la relación entre las variables de estos dos protocolos, a través de un script de Intouch, permitiendo el intercambio de información de manera transparente. En la figura 15, se tiene parte de la codificación.

Cada estación de trabajo representa una unidad de producción, donde se manejan los sistemas de tomas de decisiones, manejos de recursos e intercambio de

información con las otras unidades dentro de su dominio de cooperación. Intouch como sistema de manejo y ejecución, supervisa y controla las variables del proceso. De igual manera, actúa como sistema de intercambio de información y cooperación con otras unidades; estas atribuciones son programadas de manera independiente dentro de Intouch. Este tiene la capacidad de cooperar con otros elementos inteligentes, por su capacidad de comunicación y accionamiento autónomo, como el controlador industrial ASCON y PLC, que forman las unidades de producción.

Por otra parte, la gestión remota y tomas de decisiones fueron implementadas en LabView, en el desarrollo del entorno Web de visualización y gestión de información. En la figura 16, se presenta la página web que muestra en tiempo real la evolución del sistema.

Como resultado, la implementación de la arquitectura de automatización se logra al establecer tres unidades de producciones autónomas y cooperantes. Las estaciones combinan una serie de programas que cumplen las funciones de planificador, supervisor y controlador de las variables del proceso que junto a la configuración de comunicación forman la unidad de producción.

Un ejemplo lo vemos en la estación 1, donde Intouch está configurado con los métodos de control y supervisión de producción que manejan los recursos, pero a la vez coordina acciones de disponibilidad de materia prima y dosificación con otras unidades. De igual manera relaciona las variables del proceso con el sistema de gestión de datos y publicación. Lo anterior se logra a

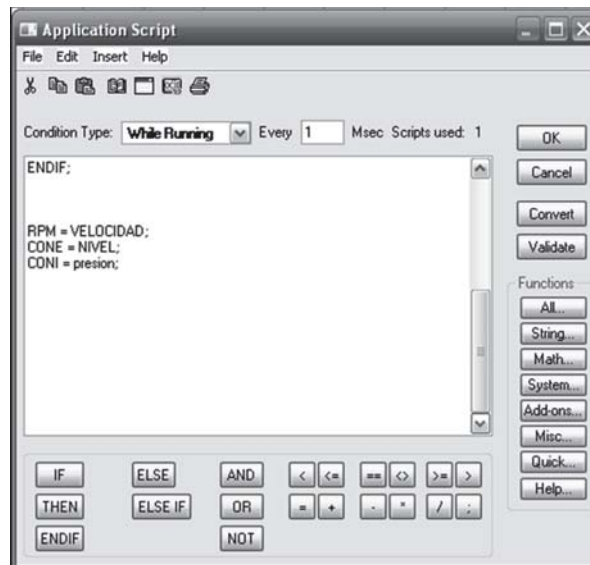


Figura 15. Intercambio de Información entre los Protocolos, Desarrollado en Script de Intouch.

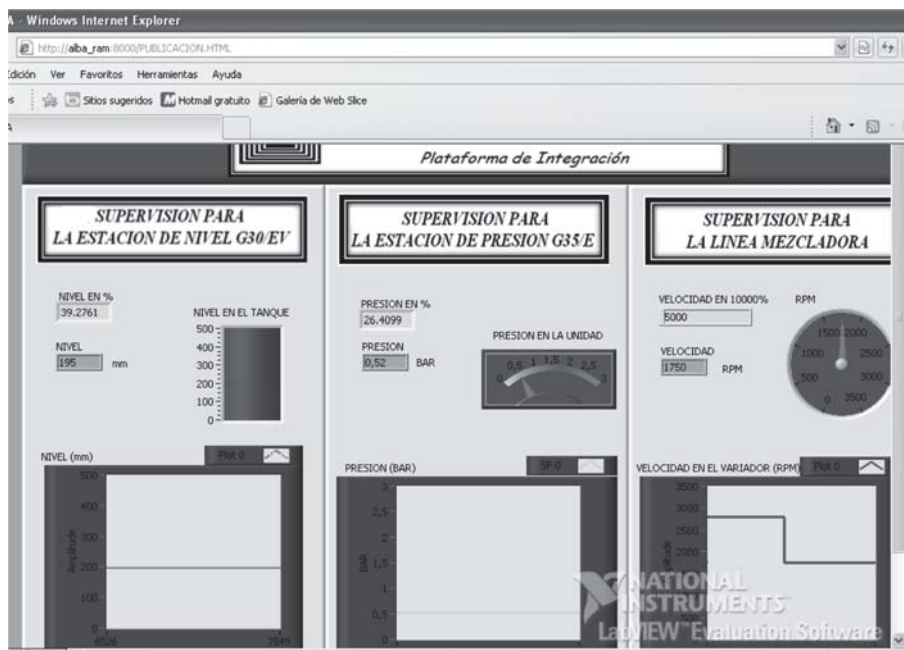


Figura 16. Publicación Web de Procesos en Tiempo Real.

través de la programación de sistemas inteligentes de manejo de información y recursos desarrollados en los scripts de Intouch y programación lógica de LabView.

Al integrar las tres estaciones del proceso de producción de galletas, donde se operan en tres entornos de simulaciones diferentes, se logra aprovechar el potencial del desarrollo de cada programa, permitiendo resaltar la eficiencia de cada uno al momento de la programación y configuración general del sistema inteligente distribuido.

La arquitectura fue implementada con el conjunto de programas descritos, ya que Twidosuite contribuye con el control de variables de campo, el Intouch con el manejo de datos y definición de sistemas inteligentes, el LabView con el control de variables y manejo de publicación Web, y el controlador ASCON con los controladores continuos y manejo de transmisión de información de proceso. Sin embargo, estos programas ser sustituidos por otros programas que realicen similares funciones de control e integración.

## CONCLUSIONES

La arquitectura propuesta nace como una contribución a las existentes propuestas de arquitecturas de automatización. Las principales referencias de este trabajo están basadas en sistemas holónicos, sistemas multi-agentes, sistemas auto-organizados, sistemas de manufacturas flexibles, y sistemas de arquitecturas abiertas distribuidas.

La propuesta se organiza en tres aspectos: la orientación de la producción (producto, proceso, o ambos), los sistemas distribuidos y auto-organizados de configuración dinámica, y los sistemas de manejo de producción (sistemas holónicos, sistemas basados en agentes, sistemas computacionales). La arquitectura plantea los aspectos de un proceso de producción dinámico, los sistemas de gestión de producción y los sistemas de ejecución de la producción, definiendo un *núcleo* para la gestión y un *DVM* para el manejo y ejecución de la producción.

La arquitectura planteada se enfocó desde los principales puntos de vista (cliente, empresa e ingeniería) de un sistema de producción, en pro de una solución desde perspectivas diferentes.

La principal contribución de la Unidad de Producción lo establece el *DVM*, como el encargado de la configuración, supervisión y gestión de la producción en cada uno de los dominios de cooperación.

La propuesta se basa en el manejo informático de los sistemas de producción, donde la distribución de tareas y funciones están asociadas al manejo de recursos asignados por periodos de tiempo negociados dentro del conjunto de unidades de producción involucradas, las cuales analizan su modelo de producción (recursos y métodos) y en función de la disponibilidad del sistema (representado por su imagen o comportamiento en tiempo real) establece la planificación, configuración y supervisión de su producción.

Por otra parte, la idea fundamental de la arquitectura fue su implementación sobre un entorno heterogéneo, donde se plantea un sistema de información que permita la integración transparente y distribuida de la estructura organizacional y funcional de la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALBIN, C. Fairness Issues in Negotiation: Structure, Process, Procedures and Outcome. IIASA. 1992.  
ANSI/ISA-88.01.1995.  
ANSI/ISA-S95.00.01-2000
- BRENNAN, R. y FLETCHER, M. An agent-based approach to reconfiguration of real-time distributed control systems, IEEE Transactions in Robotics and Automation. 18(4): 444–451. 2002.
- CHACÓN E. y DE ZARRAZIN, G. Automatización de sistema de producción. Universidad de Los Andes. 1-10. 2004.
- CHRISTENSEN, J. Holonic Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Direction, en Proceeding of 1st European Conference on Holonic Manufacturing Systems. Hannover. 1994.
- CIMOSA Association. Open System Architecture for CIM. Private Publication. 1996.
- COSENTINO, M.; GAUD, N.; GALLAND, S.; HILAIRE, V. Y KOUKAN, A. A Holonic Metamodel for Agent-Oriented Analysis and Design. IEEE Trans. On Professional Communication. 40(4): 299-304. 1997.
- FLETCHER, M.; GARCIA-HERREROS, E.; CHRISTENSEN, J.; DEEN, S.; MITTMANN, Y. "An open architecture for holonic cooperation and autonomy," Database and Expert Systems Applications, Proceedings. 11th International Workshop on. pp. 224-230. 2000.
- GIRET, A. y BOTTI V. Toward an Abstract Recursive Agent, Integrated Computer Aided Engineering. pp. 165–177. 2004.
- HOLONIC MANUFACTURE SYSTEMS (HMS) Consortium. <http://hms.ifw.uni-hannover.de>. 2009.
- KOESTLER, A. The Ghost in the Machine, Arkana Book, Londres. 1969
- LAITAO, P. y RESTIVO, F. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. Computer in Industry. 57:121-130. 2006.
- LEITANO, P. An agile and adaptive holonic architecture for manufacturing control, PhD thesis, University of Porto, Portugal. 2004.
- LEITANO, P. Restivo, Towards autonomy, self-organisation and learning in holonic manufacturing, in: V. Marík, J. Müller, M. Pechoucek (Eds.), Multi-Agent Systems and Applications III, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 2691:544–553. 2003.
- MATURANA, F.; SHEN, W.; NORRIE, D. Metamorph: An adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing. International Journal of Production Research. 37(10):2159–2174. 1999.
- NACSA, J. Comparison of Three Different Open Architecture Controllers. IFAC MIM, Prague. pp. 2-4. 2001.

- O M A C A P I W o r k G r o u p .  
<http://www.arcweb.com/omac/>. 2001.
- OSACA Association: OSACA Handbook. Stuttgart, FISW GmbH. 1999.
- OSEC Consortium (OSEC). Open System Environment for Controller Architecture Draft. <http://www.mli.co.jp/OSE/>. 1996.
- OUYANG, Z. y SHAHIDEHPOUR, S. A Multi-Stage Intelligent System for Unit Commitment. IEEE Trans. On Power Systems. 7(2):639-645. 1992.
- PABADIS Promise Consortium. Plan Automation Based on Distributed System. <http://www.pabadis-promise.org/>. 2010.
- PARUNAK, V. Odell J. Representing Social Structure in UML. Agent-Oriented Software Engineering, Springer, Berlin. LNCS 2222. pp. 1-16. 2002.
- PENYA, Y. y SAUTER, T. Communication Issues in Multi-Agent-Based Plant Automation. In proceedings 6th IEEE International Conference on Intelligent Engineering System. pp. 339-343. 2002.
- RODRIGUES, S.; HILAIRE, V. y KOUKAN, A. Toward a Metodological Framework for Holonic Multi-agent System, in Fourth International Workshop of Engineering Societies in the Agents World, Imperial College London, UK (EU), pp. 179-185. 2003.
- SOSA, P. y RAMOS, C. A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing System. Computer in Industry. 38(2):103-113. 1999.
- THARUMARAJAH, A. A self-organising view of manufacturing enterprises. Computer in Industry. 51: 185-196. 2003.
- THARUMARAJAH, A. A self-organizing view of manufacturing enterprises., Computers in Industry. 51(2): 185-196. 2003.
- THARUMARAJAH, A. y WELLS, A. Behaviour-Based Approach To Scheduling in Distributed Manufacturing Systems. Integrated Computer-Aided Engineering (Special Issue on Intelligent Manufacturing Systems). 1996.
- ULIERU, M.; BRENNAN, R. y WALKER, S. The holonic enterprise: a model for internet-enabled global manufacturing supply chain and workflow management. Integrated Manufacturing Systems. 8(13): 538-550. 2002.
- VERSTRAETE, P.; VALKENAERS, P.; VAN BRUSSEL, H.; SAINT GERMAIN, B.; HADELI K.; VAN BELLE. Towards Robust and Efficient Panning Execution Engineering Applications of Artificial Intelligence. pp. 299-304. 2007.
- WOOLDRIDGE, M. y JENNING, N. Intelligent Agents: Theory and Practices. Knowledge Engineering Review. Vol 10(2):115-152. 1995.
- WYNS, J. Reference Architecture for holonic manufacture system. PhD Thesis. K.U. Leuven, 1999.