

Sistema de enlace TCP/IP para mejoramiento de flexibilidad en la comunicación entre componentes mecatrónicos de una FMC del laboratorio CNC del Sena, Colombia

Ángela M. Vega Torrenegra* / Camilo Andrés Martínez L.** /
Pedro Martín Fernández*** / Jaime Humberto Carvajal Rojas****

RESUMEN

El sistema de enlace *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) para el laboratorio CNC del Sena, es un sistema de comunicaciones que por medio de una arquitectura cliente-servidor, permite a los componentes de una Celda de Manufactura Flexible (FMC) tener integración física con una red TCP/IP, intercambiando información a través de un computador. El objetivo de este artículo es presentar la integración física de componentes de una FMC y mostrar su flexibilidad en varios frentes: la utilización de otros protocolos, posibilidades de expansión y creación de otras FMC a partir de máquinas de sistemas de manufactura de la pequeña y mediana industria

Palabras clave: Celda de Manufactura Flexible, sistemas de comunicaciones, TCP/IP, CNC, Compact5 CNC, F1 CNC, *Mitsubishi Movemaster*.

TCP/IP LINK SYSTEM TO IMPROVE FLEXIBILITY IN COMMUNICATION AMONG MECHATRONIC COMPONENTS OF A FMC IN THE SENA'S CNC LAB, COLOMBIA

ABSTRACT

The *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) link system for the SENA's CNC Lab, is a communication system that with a client-server structure allows the Flexible Manufactured Cell (FMC) components to have a physical integration with a TCP/IP network, interchanging information through a computer. The purpose of this article is to present the physical integration of components of a FMC and to show its flexibility in different aspects: the use of other protocols, the possibility of expansion and creation of other FMC from manufacture system machines in medium size and small industry.

Key Words: Flexible Manufactured Cell, communication system, TCP/IP, CNC, Compact5 CNC, F1 CNC, *Mitsubishi Movemaster*.

* Ingeniera de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: angela.vega@gmail.com

** Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: camilomar@gmail.com

*** Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Magíster en Materiales y Procesos de Manufactura de la UNAL, Colombia. Profesor de Sistemas Integrados de Fabricación FIDAE, Universidad de La Salle, Colombia.

**** Decano Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica. Doctorado en Ingeniería Mecánica con Especialización en Ingeniería Mecatrónica y Robótica Industrial de La Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, SP, Brasil. Magíster en Sistemas Automáticos de Producción de la UTP, Colombia. Ingeniero Mecánico de la UFPS, Cúcuta, Colombia. Correo electrónico: jcarvajal@lasalle.edu.co

Fecha de recepción: enero 21 de 2006.

Fecha de aprobación: marzo 21 de 2006.

INTRODUCCIÓN

En los Sistemas Automáticos de Producción (SAP) la flexibilidad se reduce a las posibilidades de programación y reprogramación de cada una de las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC) o de los sistemas basados en Power Line Communications (PLC). Además, la integración física de las máquinas CNC o de los sistemas basados en PLC dentro de una FMC es realizada en forma rígida, sin preocuparse en la apertura de la arquitectura, o que sea flexible la configuración, que permita la expansión e integración con otros componentes o sistemas hacia el futuro.

La rigidez en la forma de comunicación entre componentes de un Sistema de Manufactura Flexible (FMS) para permitir su integración informática, dificulta la actualización de los mismos, de implementar nuevos desarrollos e incluso es casi imposible integrar diferentes FMC a FMS.

La documentación y capacitación sobre estos FMS son tan escasos que si no se tiene en consideración todos los detalles que permitan el funcionamiento tanto individual como integradamente y si no se realiza una práctica constante de todo el funcionamiento del sistema, puede darse el caso de que los sistemas no sean utilizados en forma eficiente o se utilicen en su manera más elemental.

Los componentes de las FMC, así se encuentren en perfectas condiciones físicas debido a la poca utilización, son desplazados por nuevos sistemas de mejor tecnología, más flexibles, pero con iguales problemas derivados de la poca información y escasa experiencia para realizar la integración de los equipos dentro de la FMC.

Para mostrar las posibilidades de desarrollo de las FMC para la industria colombiana como sistemas abiertos¹ de manufactura con mejores prestaciones

y características de sistemas abiertos de manufactura, tomando como base las máquinas CNC; se ha desarrollado el sistema de enlace TCP/IP para el módulo FMS del taller CNC del Sistema Nacional de Aprendizaje (SENA).

DESARROLLO DEL SISTEMA DE ENLACE TCP/IP

La idea fundamental de este proyecto, es implementar un sistema de comunicaciones basado en TCP/IP que permita el intercambio de información con cada uno de los equipos del módulo de manufactura flexible, de tal manera que permita el acceso a la información de cada uno de dichos equipos, y por medio de ésta, que se facilite la integración entre los mismos; todo lo anterior mediado por tecnología sencilla, abierta, de fácil implementación, de fácil alcance y con productos que se encuentran fácilmente en el mercado Colombiano.

ARQUITECTURA

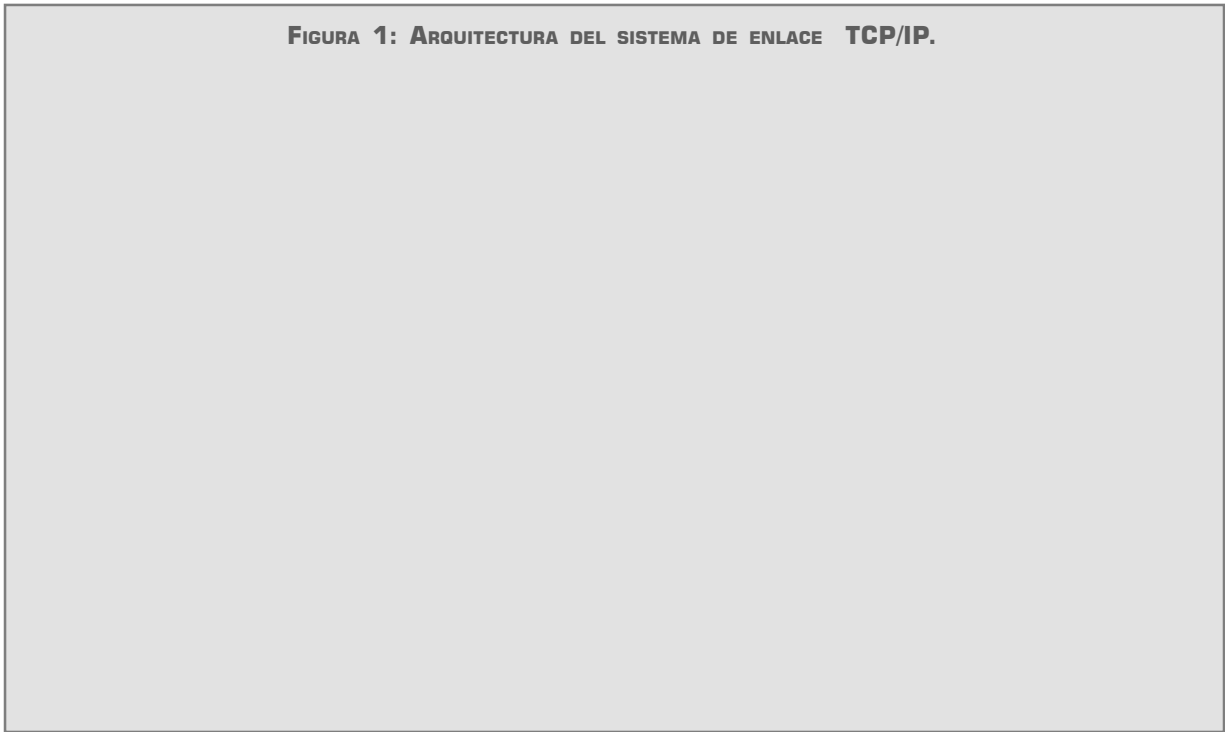
El nuevo sistema se concibió con una arquitectura cliente-servidor, donde cada una de las máquinas actúa como servidor, proporcionando toda la información pertinente al proceso que cada una de ellas realiza; a su vez el cliente como una aplicación en un computador, el cual se encarga de realizar peticiones al servidor sobre dicha información. La arquitectura del sistema de enlace TCP/IP se puede ver con detalle en la Figura 1.

COMPONENTES

Cada estación servidor se compone de 3 elementos: 1. El equipo o máquina como tal, 2. Un módulo de red encargado de propagar y recibir la información del equipo por la red de comunicaciones y 3. Una interfaz electrónica encargada de procesar la información proveniente de la red para convertirla en órdenes de máquina y viceversa.

¹ Sistemas abiertos son aquellos que utilizan componentes informáticos basados en estándares independientes de proveedor, a su vez deben permitir portabilidad e interoperabilidad. Para mayor información consulte: <http://www.gestiopolis.com/delta/term/TER208.html>

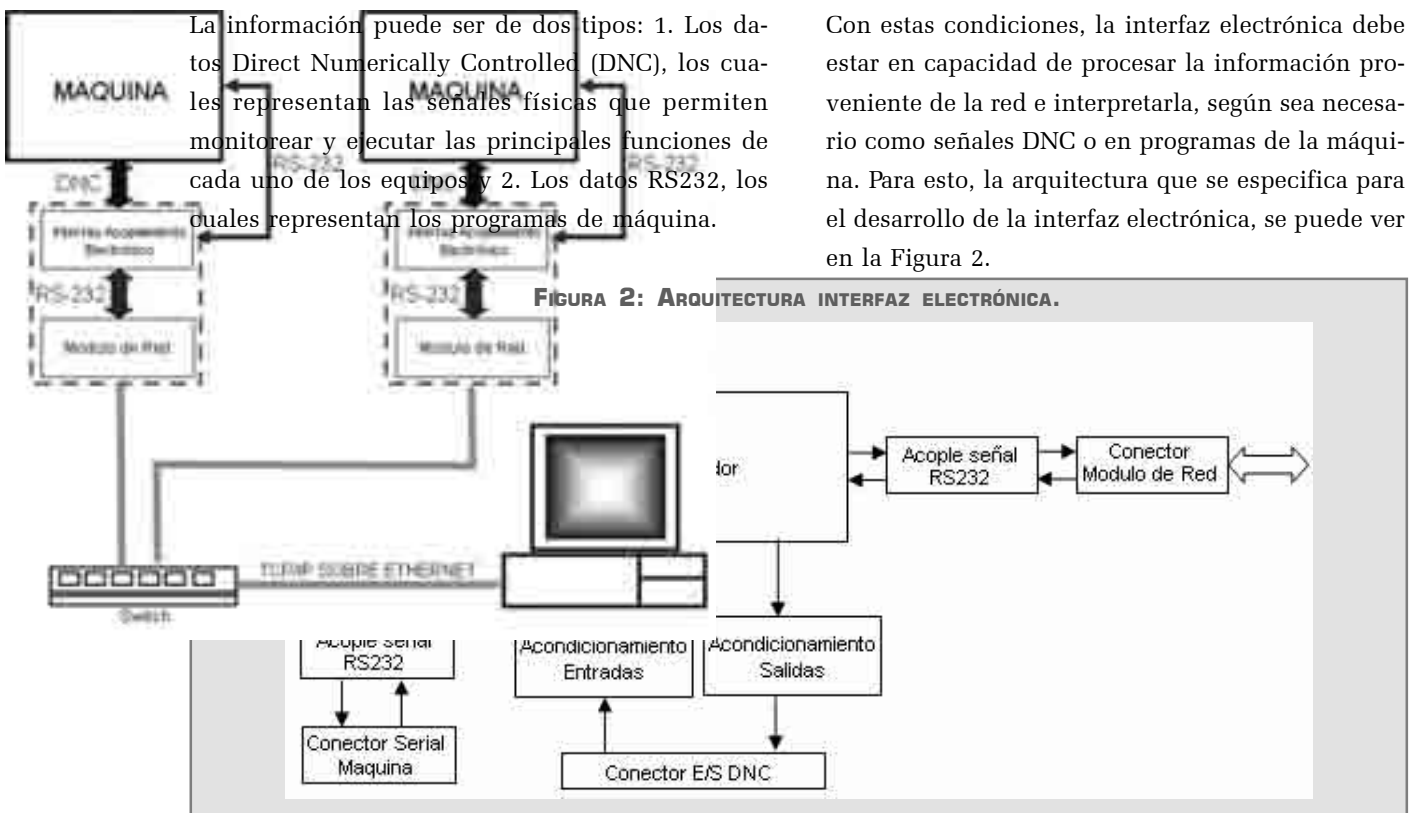
FIGURA 1: ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ENLACE TCP/IP.



La información puede ser de dos tipos: 1. Los datos Direct Numerically Controlled (DNC), los cuales representan las señales físicas que permiten monitorear y ejecutar las principales funciones de cada uno de los equipos y 2. Los datos RS232, los cuales representan los programas de máquina.

Con estas condiciones, la interfaz electrónica debe estar en capacidad de procesar la información proveniente de la red e interpretarla, según sea necesario como señales DNC o en programas de la máquina. Para esto, la arquitectura que se especifica para el desarrollo de la interfaz electrónica, se puede ver en la Figura 2.

FIGURA 2: ARQUITECTURA INTERFAZ ELECTRÓNICA.



INTERFAZ ELECTRÓNICA

La Figura 2 muestra que la interfaz electrónica esta basada en un controlador, el cual posee varias funciones: 1. Interpretar la información proveniente del medio. 2. Establecer la dirección de la información (desde o hacia la máquina) 3. Direccionar la información hacia los módulos de acondicionamiento de las señales DNC o de acoplamiento RS232.

Para que el controlador interprete la información proveniente del medio, se establece un formato especial para dicha información. Esto permite que el controlador determine la naturaleza de la petición externa y retorne una respuesta correspondiente, extrayendo o enviando la información del modulo adecuado. El formato utilizado para la comunicación entre el medio y la interfaz electrónica es el que se puede apreciar en la Figura 3.

FIGURA 3: FORMATO DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN

COMUNICACIONES

Como se puede observar, este formato posee un encabezado que permite realizar la identificación del inicio de la petición, un identificador del tipo de dato, que permite diferenciar entre los datos DNC y los programas; la operación que especifica si es una escritura (transmisión hacia la máquina) o una lectura de la información de la máquina, los datos propiamente dichos y un carácter que indica el fin de la instrucción o petición.

Siempre la estación cliente o computador es la encargada de realizar peticiones sobre la estación servidor sin importar el tipo de datos, lo cual garantiza un flujo de información adecuado y ordenado, que solo se ejecutará mientras exista un requerimiento o petición por parte de la estación cliente. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la manera como se desarrolla el flujo de información entre la estación cliente y la estación servidor.

FIGURA 4. FLUJO DE INFORMACIÓN DENTRO DEL SISTEMA.

La interfaz electrónica se encarga de interpretar y orientar la información proveniente de los equipos, pero es el modulo de red quien se encarga de transportar la información desde la interfaz electrónica hacia la red TCP/IP y por medio de ésta hacia la estación cliente. Para esto, tanto la interfaz electrónica como el modulo de red contienen una interfaz de comunicación común que permite la comunicación interna entre estos dos módulos.

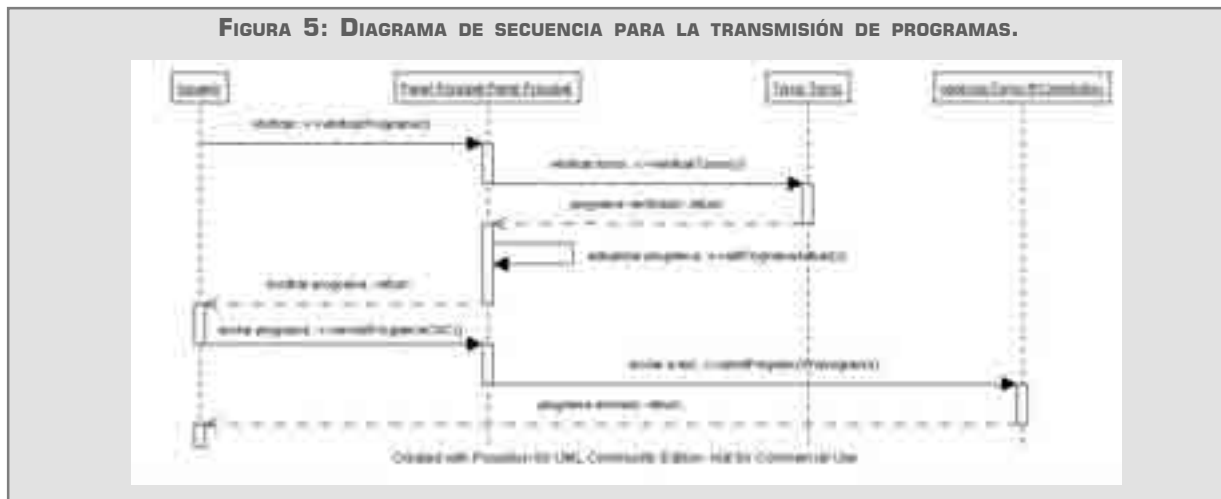
La implementación de la interfaz de comunicación se hizo por medio del estándar RS232, ya que éste es muy común a nivel industrial, al igual que el RS485 y el RS422; es por esta razón que existen múltiples dispositivos de red que transforman de manera transparente de estos estándares a TCP/IP utilizando como medio de enlace *Ethernet*.

La modularidad de los componentes de la estación servidor, permiten que el sistema de enlace sea tan flexible que el formato para la transmisión de información a través de la red pueda ser modificado, puesto que es programado en el controlador. La flexibilidad es tal, que la transmisión de información puede acoplarse a otros tipo de red de comunica-

ciones o buses de campo o a otros dispositivos *gateway*² que transformen la información proveniente de la interfaz electrónica hacia el tipo de red para la cual este especificado dicho dispositivo.

La estación cliente es la encargada de realizar las peticiones o requerimientos de información a cada una de las estaciones servidor independientemente, es decir, es la encargada de requerir información sobre el estado de las máquinas en un momento dado, de hacer una petición de transmisión de programas desde o hacia las máquinas o de hacer un requerimiento de ejecución de una de las funciones básicas de la máquina, cuando sea necesario.

Las peticiones que se realizan de manera individual hacia cada una de las máquinas a través de la estación cliente, fueron implementadas a partir de manejo de eventos en la aplicación cliente. El modelamiento de estas acciones realizadas sobre las máquinas fue realizado a través de diagramas de casos de uso³ y diagramas de secuencia⁴ en Unified Modeling Language (UML)⁵. Un ejemplo del diagrama de secuencia para la transmisión de programas hacia las máquinas se muestra en la Figura 5.



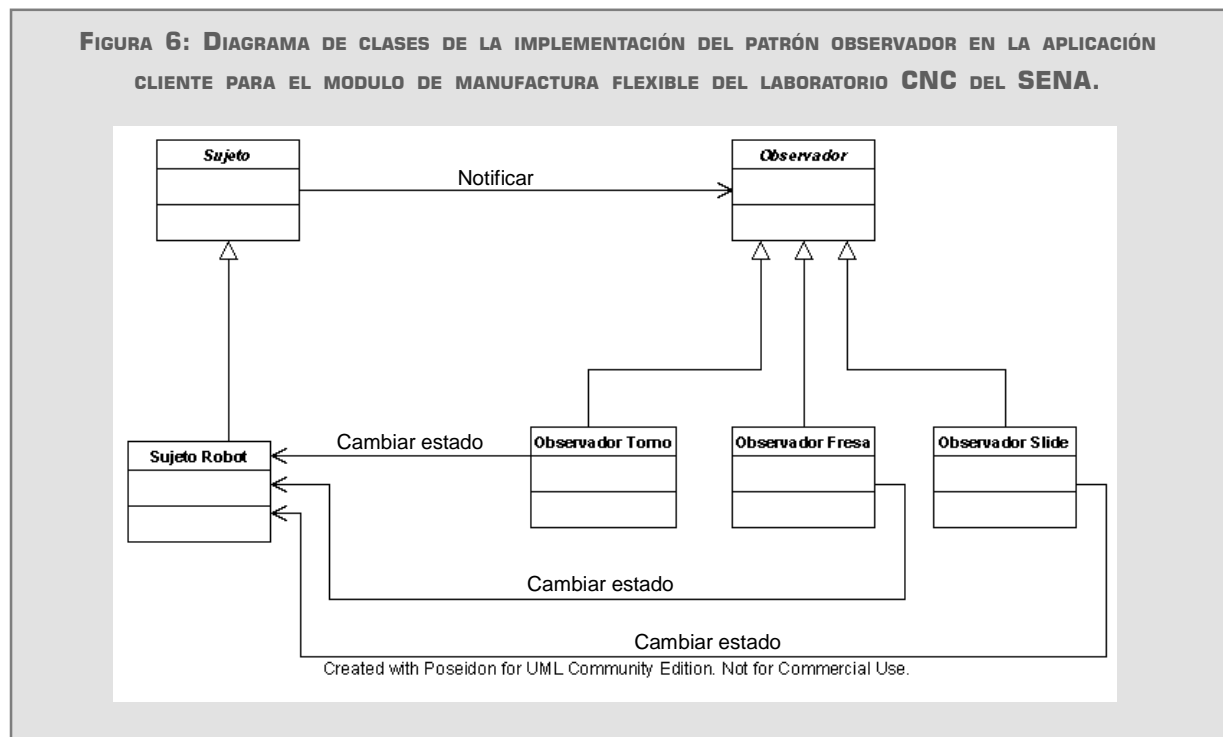
2 Intermediario que desempeña el papel de un servidor en nombre de otro con el objeto de suministrar recursos o manifestaciones de recursos del servidor representado. Para mayor información consultar: <<http://www.w3.org/TR/2003/WD-di-gloss-20030825/>>
 3 Los diagramas de casos de uso describen qué hace el sistema desde el punto de vista de un observador externo. El énfasis está en qué es lo que hacen en un sistema, más que en el cómo lo hacen. Para mayor información consultar: <<http://bdn.borland.com/article/0,1410,31863,00.html>>
 4 Los diagramas de secuencia muestran cómo colaboran los diferentes objetos de una aplicación entre sí, cómo se realizan las operaciones, qué mensajes se envían entre objetos y cuándo. Para mayor información consultar: <<http://bdn.borland.com/article/0,1410,31863,00.html#sequence-diagrams>>
 5 UML es un lenguaje estándar para la especificación, visualización, construcción y documentación de sistemas de *software*.

INTEGRACIÓN FMC

La estación cliente también tiene la importante función de permitir la integración de los equipos como una FMC mediante el redireccionamiento de la información desde un módulo específico hacia los otros que requieran de dicha información, a partir de la realización de peticiones y la recepción de respuestas hacia cada uno de los equipos involucrados en el proceso.

Para la realización eficiente de este intercambio de información y reducir la cantidad de lógica; la funcionalidad de la estación cliente fue modelada por medio de patrones de diseño de aplicaciones de *software*⁶, específicamente, por medio del llamado patrón *observador*.⁷

La Figura 6 muestra el diagrama de clases desarrollado con técnicas de UML para la implementación específica del patrón observador para el módulo de manufactura flexible del laboratorio CNC del SENA.



El funcionamiento de este patrón se basa en dos tipos de objetos, un objeto sujeto y un objeto observador. El sujeto se encarga de notificar sobre los cambios en el sistema a cada uno de los observadores cada vez que un cambio ocurra. De la misma manera, cuando un observador experimenta un cambio sobre las variables del proceso que esta

monitoreando, anuncia de este cambio al sujeto, el cual de nuevo, se encarga de notificar a todos los observadores sobre el cambio en dicho observador.

Para el caso específico de este sistema, como se observa en la Figura 5, el sujeto es el robot, puesto que es quien debe comandar la FMC, y por tanto,

6 Un patrón de diseño de aplicaciones describe una solución probada de un problema de diseño que se repite frecuentemente haciendo un énfasis particular en el contexto, las fuerzas alrededor del problema, las consecuencias e impacto de la solución. Para mayor información consultar: <<http://java.sun.com/blueprints/patterns/>>

7 El patrón observador es una solución a un problema de actualización que aparece cuando algunos objetos tienen una relación de dependencia con otros. Para mayor información consultar: <<http://java.sun.com/developer/technicalArticles/Programming/KeepObjectsInSync/index.html>>

quien emite las ordenes de procesamiento durante la ejecución de la integración. De la misma manera, los observadores se encargan de monitorear las variables de cada una de las máquinas, de tal forma que cuando ocurre un cambio en una de las máquinas, el observador anuncia de este cambio al sujeto, el cual toma las acciones necesarias, según este cambio de estado, y al mismo tiempo notifica a todos los observadores que pueden requerir esta informa-

ción. Así, el intercambio de información entre los módulos se hace más sencillo, ordenado y eficiente.

La Figura 7 muestra un modelo en sistema CAD de una FMC modelada, simulada, programada e integrada a partir de *software* Workspace y en la Figura 8 se muestra la FMC desarrollada a partir de los conceptos de este proyecto.

FIGURA 7. MODELO CAD DE FMC CON DOS ROBOTS Y MECANISMO MB-MR PROPUESTO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA DE LA UNICAMP SP, BRASIL.



REAL FMC INTEGRADA EN EL SENA DE BOGOTÁ, SE EN ESTE PROYECTO.



CONCLUSIONES

Un sistema de manufactura flexible no se limita simplemente a la integración de un conjunto de máquinas con un sistema de comunicaciones cerrado que permite exclusivamente la integración de estos módulos. El término flexible debe extenderse más allá de la posibilidad de programar cada equipo de distintas maneras, debe incluir flexibilidad en cuanto al sistema de comunicaciones en sí, a la carga dinámica de programas, a la facilidad de interacción con otros sistemas y la facilidad de extensión o de trabajos posteriores para mejorar las capacidades del sistema.

El hecho de facilitar la interacción con un conjunto de máquinas a través de una red TCP/IP por medio de una arquitectura tan explorada como es la de cliente servidor, muestra la potencialidad que puede tener un sistema, reflejado en la mejor interacción y experiencia del usuario; en una mejora del desempeño del sistema; y en el hecho de permitir ex-

plorar nuevas aplicaciones y usos de un sistema de manufactura.

Aunque no es simple cambiar un sistema totalmente centralizado a un modelo distribuido, que se comunica a través de TCP/IP y que usa ambiente Windows en lugar del ambiente DOS, tampoco es tan complejo si se parte de conceptos fundamentales que extraen información y realizan el enlace más sencillo posible para el cambio de red. Igualmente, no son necesarios componentes sofisticados y todo se puede lograr con elementos disponibles en el mercado colombiano.

Con este proyecto se muestra que es posible desde todo punto de vista, desarrollar sistemas flexibles de manufactura FMS con base en máquinas existentes, dispositivos, interfaces y mano de obra colombiana; sin necesidad de recurrir a sistemas prefabricados y preconcebidos para estos fines. Un sistema de manufactura flexible FMS no es solamente el que es pensado o comercializado como tal, sino el que cumple las funciones de dicho sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Carvajal, J. Modelamiento, simulación y programación *off line* de robots y dispositivos mecatrónicos integrados en células flexibles de manufactura FMC. Tesis de doctorado. UNICAMP, SP, Brasil, 2004.

Groover, M. *Automation, Production Systems, and Computer - Integrated Manufacturing* (2 Ed.) New Jersey: Prentice Hall, 2001.

Torrenegra, Á. y Martínez C. *Sistema de enlace TCP/IP para el módulo FMS del laboratorio CNC del SENA*. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica. Universidad de La Salle. Bogotá, 2005.