

EVOLUCIÓN DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS) A UN SISTEMA DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM)*

MIGRATING FROM FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM (FMS) TO COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING CENTER (CIM)

*Carlos Eduardo Fúquene Retamoso***

*Santiago Aguirre Mayorga****

*Nazly Bibiana Córdoba Pinzón*****

Resumen: el desarrollo de las máquinas herramientas, los elementos del control de la producción, los robots, computadores y las redes de comunicación han transformado los medios de manufactura existentes en sistemas de manufactura integrados y versátiles. Aquellas industrias que deseen mantenerse competitivamente en la era de la información y la globalización actual están obligadas a introducir tecnologías avanzadas de producción, orientadas a sistemas de manufactura flexible capaces de manejar los procesos empresariales de manera transversal. Este artículo plasma la evolución de un sistema de manufactura flexible (FMS) hacia un sistema de manufactura integrada por computador (CIM) a través de la integración de los procesos de planeación de la producción desarrollados en

* Fecha de recepción: 28 de noviembre de 2006. Fecha de aceptación para publicación: 18 de diciembre de 2006. Este artículo es derivado del proyecto de investigación denominado "Integración del sistema de planeación de recursos empresariales (ERP) de SAP con el sistema de manufactura integrada por computador (CIM), en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería", financiado por la Pontificia Universidad Javeriana.

** Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Magíster en Gestión Ambiental, Portland State University (Oregon, USA). Profesor asistente, Departamento de Procesos Productivos, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: cfuquene@javeriana.edu.co

*** Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Profesor asistente, Departamento de Procesos Productivos, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: saguirre@javeriana.edu.co

**** Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Joven investigadora Grupo Zentech, Departamento de Procesos Productivos, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: nazly.cordoba@javeriana.edu.co

un sistema de planeación de recursos empresariales (ERP) con la fabricación y control de la producción desarrollados en un FMS, por medio de una interfaz de capa media, con el fin de automatizar procesos de envío y recibo de información de producción, para garantizar la transparencia de los datos y la optimización de los procesos.

Palabras clave: planeación de recursos empresariales, sistemas de manufactura integrada por computador, administración de la producción, sistemas flexibles de manufactura.

Abstract: the development of machines tools, elements for process control, robots, computers and communications networks have transformed existing ways of manufacturing into integrated and versatile manufacturing systems. Those industries that need to maintain their position in a competitive level, at the currently information and trade globalization era, are being forced to introduce advanced production technologies achieving flexible manufacturing systems capable of managing transversals company's processes. This paper shapes the evolution of a Flexible Manufacturing System (FMS) towards a Computer Integrated Manufacturing System (CIM) trough the integration process of two systems, a FMS and an Enterprise Resource Planning (ERP), using a middle tear interface with the purpose of automating the process of sending and receiving production information, to guarantee transparency of data and achieve processes improvement.

Key words: Enterprise Resource Planning, Computer Integrated Manufacturing Systems, Production Management, Flexible Manufacturing Systems.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el proceso de toma de decisiones de las organizaciones se requiere cantidad y calidad de la información de manera continua. Las exigencias cada vez mayores de un mercado con mejores habilidades de negociación obligan a los administradores de procesos a actuar con flexibilidad y a que estos procesos se adapten a los cambios que ocurren en el mercado. Gran parte de las organizaciones cuentan con sistemas productivos y áreas funcionales que no son vistos de manera global y sistémica y que, por lo tanto, se convierten en fuentes de reproceso y retrabajo que afectan el desempeño de la organización.

La comunicación oportuna con el cliente y la logística de información entre los diferentes procesos de una empresa, se convierten en uno de los retos por afrontar en la actualidad. Como respuesta a ello, las organizaciones buscan la manera de incrementar sus índices de productividad y de mejorar la atención a sus clientes, mediante la recepción y tratamiento de la información de manera confiable. Para ello han desarrollado sistemas de manufactura que han evolucionado desde el diseño y manufactura asistida por computador hasta los sistemas de manufactura integrada por computador, así como sistemas de información que capturan y hacen seguimiento a la información del cliente.

Las respuestas empresariales han sido a través de los llamados sistemas de manufactura flexible (FMS, por sus iniciales en inglés), que se pueden definir como un conjunto de máquinas e instalaciones productivas, interconectadas mediante un sistema automatizado de transporte, que funcionan de forma integrada bajo el control de un computador y están en capacidad de producir una gama de familias o de tipos de piezas, así como su posterior montaje (Capuz, 2001). Los FMS son útiles para las empresas manufactureras en lo relacionado con el mejoramiento de su competitividad y rentabilidad, a través un proceso de fabricación eficiente y un manejo eficaz de los recursos (Shang, 1995). Tan importante es la búsqueda de los objetivos anteriormente mencionados que gran cantidad de estudios han estado encaminados al “uso conjunto de las Redes Petri y de los algoritmos genéticos como un nuevo enfoque para modelar sistemas de manufactura flexible y generar programas de producción activos orientados a la minimización de la tardanza ponderada de los trabajos” (Caballero, 2006), con el fin de optimizar los trabajos de los FMS.

Ahora bien, el tema de la integración de la información se convierte en objetivo estratégico de las compañías; la consulta de datos en tiempo real es determinante para la correcta ejecución de los procesos. Por ejemplo, en el caso de una empresa industrial, no se podría comprometer una orden de producción cuando se carece de existencias de materias primas e insumos para tal fin; ello hace vital la comunicación entre las diferentes áreas y sus proveedores para lograr en un futuro que el funcionamiento del sistema de información se realice de manera autónoma, puesto que se convierte en “herramienta valiosa para asegurar la eficiencia y precisión en los procesos de manufactura” (Construdata, 1997) y, en general, para lograr un mejor desempeño de la compañía.

Ejemplos de aplicaciones de sistemas de información exitosos incluyen el caso de Cemex, la multinacional mexicana productora de cemento que sustenta parte de su éxito en su sofisticado sistema de información. Al respecto en un artículo de la revista *Dinero* se menciona que “desde su implementación en 1995, el sistema que Cemex llama sincronización dinámica de operaciones ha aumentado la productividad de sus camiones en un 35%. Los ahorros en gasolina, mantenimiento, costos de nómina y el mejoramiento de la imagen entre los clientes es enorme” (*Dinero*, 1998). Desde 1998 Cemex dio inicio al proceso de establecimiento de su sistema de información mediante la instalación de antenas parabólicas de transmisión de voz y datos, enlazando los computadores en sus plantas y creando finalmente el CemexNet, una red de comunicaciones privada que permite enlazar a cualquier miembro de la empresa en cualquier parte del mundo.

Es así como la fluidez de la información debe estar presente en todos los procesos de la compañía y un sistema de manufactura flexible no es ajeno a esta premisa. Queda atrás la necesidad de esperar a que el administrador de producción ingrese y actualice la información de la ejecución de cada proceso de producción al finalizar su jornada para el

conocimiento de lo que ocurre en los procesos por parte de todas las áreas de la organización. Es por ello que la integración inexistente entre los sistemas de información y los sistemas de manufactura se ha convertido en una necesidad por cubrir de parte de las organizaciones.

El propósito del presente artículo es mostrar una solución a esta problemática por medio del desarrollo de un sistema de capa media que permite el intercambio de datos de dos sistemas completamente independientes: el Cosimir Control® (SCADA por sus siglas en inglés "Supervisory Control And Data Adquisition"), encargado de la función de producción del FMS, y el sistema de planeación de recursos empresariales (ERP, por sus iniciales en inglés) SAP R/, con el objeto de minimizar tiempos en actividades de transmisión de datos por medio de la automatización del proceso.

2. EVOLUCIÓN DE UN SISTEMA FMS A UN CIM

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

El Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana amplió, a principios del año 2004, el sistema de manufactura flexible mediante la incorporación de nuevas estaciones integradas con el objetivo de desarrollar proyectos de investigación y generar nuevos conocimientos en los temas relacionados con la manufactura de producto en ambientes automatizados.

En el FMS se pueden simular y realizar operaciones de manufactura que involucran procesos de almacenamiento, distribución y mecanizado de materiales. Para ello se cuenta con una estación de mecanizado, una estación para almacenamiento y recuperación de estibas, un sistema de transporte con vehículos transportadores de piezas y una estación central para programación, dirección y control de las demás estaciones y del flujo de materiales. La estación de mecanizado cuenta con dos máquinas de control numérico y un robot manipulador con seis grados de libertad que se encuentra posicionado sobre un eje lineal. La estación para almacenamiento y recuperación cuenta con un almacén con capacidad para cuarenta estibas y un robot cartesiano con tres grados de libertad (Figura 1).

Figura. 1. Sistema de Manufactura Flexible del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana



a) Almacén



b) Banda transportadora y Centro de mecanizado

Fuente: presentación propia de los autores.

La estación central realiza la administración del sistema para la fabricación de producto desde el controlador programable o SCADA Cosimir Control® por medio de una red local (LAN). En la red local se realiza la comunicación vía Ethernet y RS232 para los equipos que conforman el sistema de manufactura. Cada uno de los equipos que forma parte del sistema de manufactura cuenta con su respectiva dirección IP a través de la cual se realiza la transmisión de la información.

2.2 DISEÑO DEL SISTEMA PRODUCTIVO EN UN FMS

El diseño de un sistema productivo a ejecutarse en el FMS debe ser planeado con anterioridad para definir la secuencia de cada una de las actividades productivas. De acuerdo con lo anterior y lo definido en el diseño de producto, la secuencia de las tareas de producción en una fábrica modelo son las siguientes:

- Selección de materia prima
- Elección del producto a fabricar
- Transporte al centro de mecanizado
- Fabricación del producto
- Almacenamiento

Una vez definida la secuencia de producción, se realizó la programación en el Cosimir Control®; este tipo de controlador programable permite en un proceso de producción, entre otros:

- Monitoreo y control de datos
- Visualización de procesos de producción

- Visualización y control de las estaciones
- Sincronización de las máquinas
- Intercambio de información de las estaciones
- Regulación de sistemas de transporte y de los robots
- Creación de alarmas de emergencia

El desarrollo del proceso productivo, en cuanto a la secuencia de operaciones y los requerimientos de información de la fábrica modelo, fue manejado a partir de un proyecto creado para tal fin en el Cosimir Control®. Cada proyecto creado en esta plataforma de programación involucra seis elementos principales: planes de procesos, dispositivos, controladores, librerías, procesos y tareas.

- Planes de procesos: definen el orden de los eventos o la ejecución secuencial o paralela de pasos por medio de la programación por código de líneas. En la Figura 2 se puede observar en la línea No. 100 la forma de escribir una orden al programa que, en este caso, corresponde a la requisición de un carro en la estación del almacén por medio de la función “require” del “device transport” concierne al dispositivo de la banda transportadora.

Figura No. 2. Ejemplo de plan de procesos de la fábrica modelo

Line	Condition	Device	Task	Next line	Comment
- Read from database program number for turning machine for the requested End part number					
100		Transport	REQUIRE		
110		CALL	%s = StockProcess(%\$NamePW,%\$StarPW)		
120	"NOOP"	CALL	%s = "NOOP"	Rel	
		Transport	GetProduct(%\$StarPW)		
TO_CNC		CALL	%s = 1		
300		Transport	to_CNC_Frederic		
L1		CALL	RelayCNC_Frederic(%\$Pos(%\$N))		
310	"	CALL	%\$Pos = %s		Shutdown
		CALL	%s = %s + 1		
320	0	NOOP			TO_CNC
		NOOP			L1

Fuente: presentación propia de los autores.

- Dispositivos: corresponden a los equipos controlados en el FMS, entre los que se encuentran para este caso el torno, la banda transportadora, la fresadora y el robot. Estos dispositivos son configurados por el usuario, es decir, si al momento de utilizar el FMS no se tiene una máquina adicional, por ejemplo, puede agregarse para que pase a formar parte del sistema.
- Controladores: para que los equipos del FMS puedan funcionar correctamente es necesario agregarle a cada uno un controlador especificado que permita la comunicación y transferencia de tareas desde el Cosimir Control® al dispositivo y viceversa. Los controladores en este caso fueron los siguientes: DDE para la banda transportadora, fresadora y almacén AS-RS; TCP/IP para el robot y el computador de control de la fresadora, de tipo Serial para el torno de control nu-

mérico; *Matflow* para el sistema de transporte; *Simula* para visualizar estaciones virtuales; *ProcVis* para las ventanas de visualización; y *ODBC_SQL* para el manejo de base de datos.

- Tareas: función definida previamente en el Cosimir Control® o que es desarrollada por el programador para llevar a cabo una actividad.

2.3. INCLUSIÓN DEL SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA EN LA RED DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

En relación con las restricciones del sistema de manufactura se tiene que, aunque éste funcionaba como una fábrica productiva modelo, carecía de los procesos administrativos con los que cuenta toda organización. Con miras a realizar procesos de simulación y de manufactura de producto que reflejaran los procesos administrativos de una organización, se configuraron los procesos de planificación de la producción, gestión de materiales y ventas para la fábrica modelo en el sistema de información SAP R/3. Teniendo en cuenta que los procesos de manufactura y de manejo de información para la fábrica modelo no interactuaban entre sí, se buscó a través del proyecto de investigación encontrar la manera de comunicar los sistemas de manufactura y de información, y lograr una fábrica modelo completamente automatizada.

Como primer paso en la integración fue necesario incluir el FMS dentro de la red del campus de la Universidad, ya que el sistema de información SAP R/3 así se encontraba configurado y, por ello, la red se constituía en el mejor medio para establecer la comunicación entre los dos sistemas.

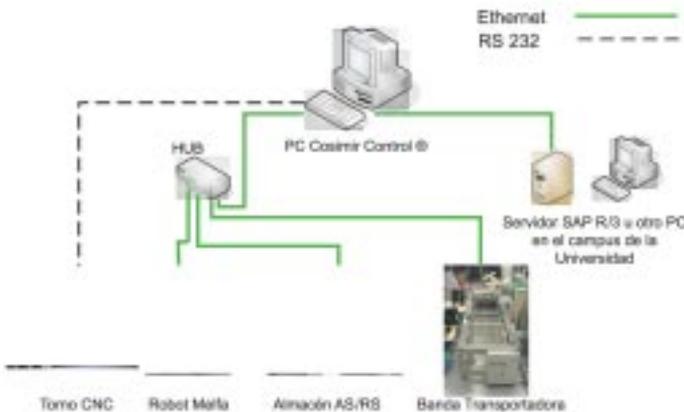
Para incluir el sistema de manufactura en la red del campus de la Universidad Javeriana se realizó la conexión física del CIM a la red de la institución y se asignaron nuevas direcciones IP de carácter fijo para cada uno de los equipos que forman parte del sistema de manufactura.

La asignación de nuevas direcciones IP implicó modificar la estructura interna de los controladores con respecto a la dirección asignada para comunicación. Por ejemplo, para los controladores lógicos programables (PLC, por sus iniciales en inglés) de la banda transportadora, del almacén y de la fresadora, se modificó la configuración original a través del software FST-4® con la nueva dirección IP asignada. Para el caso del robot, la dirección IP se modificó y actualizó a través del software Cosimir Professional®. Con respecto a los computadores utilizados en el sistema, se modificó en cada uno de ellos la configuración de la dirección por medio de cada una de sus tarjetas de red. Finalmente, desde la estación de programación y control por medio del programa *IPC DATA SERVER*, se actualizaron las direcciones que ya habían sido cargadas en cada uno de los PLC con el fin de permitir la comunicación y transferencia de tareas desde el Cosimir Control® a cada uno de los dispositivos. El programa *IPC DATA SERVER* es una interfaz de software para enlazar un PLC con el Cosimir Control® a través del controlador DDE propio de la estación de programación y control.

Cuando se iniciaron las pruebas de verificación de la inclusión del sistema de manufactura en la red, se pudo evidenciar que la banda transportadora se detenía a intervalos de tiempo aleatorios. Esto demostró que aparentemente el intercambio de tramas en la comunicación con la banda transportadora es sensible al tráfico adicional o extraño con respecto al generado en la red interna del FMS, lo cual significa que cuando a la banda transportadora le llega una trama diferente a las generadas por el FMS, ésta no es desechada sino que se procesa como si fuera una orden de detención.

Se tomó entonces la decisión de conectar a la red únicamente el equipo de programación y control del FMS, y que éste sirviera de enlace entre el sistema de información y los componentes del sistema de manufactura. Para ello, se configuraron dos tarjetas de red en el computador maestro (estación de programación y control) del sistema de manufactura. Una de las tarjetas de red fue configurada para establecer la comunicación entre la red LAN del sistema de manufactura y el computador maestro. La segunda tarjeta de red se utilizó para instaurar la comunicación entre el computador de programación y control y los computadores del campus de la Universidad, con el objeto de que cualquier computador que contara con la aplicación SAP R/3 pudiera acceder al medio de integración a utilizar en la estación de programación y control. Para iniciar el sistema de manera integrada, se estableció primero la conexión de la IP del equipo maestro con los demás componentes del sistema FMS a través de la asociación de los controladores del software Cosimir Professional® con cada uno de los dispositivos que componían el sistema de manufactura. Después de ello se procedió a habilitar la segunda tarjeta IP del equipo maestro para que ésta pudiera ser visualizada desde cualquier otro equipo de la red y, de esta forma, se pudiera tener acceso al equipo maestro (Figura 3).

Figura 3. Distribución del sistema de comunicaciones



Fuente: presentación propia de los autores.

2.4 DESARROLLO DEL MEDIO DE INTEGRACIÓN

Como medio de integración entre el sistema de manufactura y el de información se seleccionó una base de datos de Microsoft Access®. La base de datos, situada en el computador de programación y control del sistema de manufactura, recibe la información de las órdenes de producción generadas en SAP R/3 y, por medio de un desarrollo basado en macros y formularios sobre la base de datos para servir de servidor de capa media y de interfaz con el usuario, escribe la información generada por el FMS sobre las órdenes de producción finalizadas.

El mencionado servidor de capa media (*middle-tier*) es un concepto lógico referido a una capa intermedia entre los sistemas finales, en este caso, las tablas de base de datos con las que interactúa el FMS y el sistema de archivos del cual lee y en el cual escribe la información intercambiada con SAP haciendo uso de archivos de texto plano (Aguirre, 2005). Este desarrollo evita tener que desarrollar un componente más por articular dentro de la solución y que agregue complejidad al sistema.

El FMS interactúa continuamente por medio del anterior sistema de capa media con las tablas de la base de datos denominadas Órdenes_Produccion_SAP y Respuestas_CIM. De la primera tabla se leen las órdenes de producción enviadas por SAP y se coloca una marca en el campo *terminado*, una vez finalizada la secuencia del proceso, para evitar leer más de una vez la misma orden. En la segunda tabla se escriben los valores de respuesta y son marcadas las respuestas que son leídas de SAP.

2.5 DESARROLLO DE PLANES DE PROCESO PARA LA INTEGRACIÓN

Para operar el FMS con el medio de integración de capa media, fue necesaria la creación de cuatro planes de proceso en el Cosimir Control®. Dos de ellos cumplen funciones específicas de intercambio de información con la base de datos y dos más envían datos para ser visualizados en el SCADA. A continuación se explica brevemente cada uno de ellos:

- Lectura SAP: plan de procesos que tiene como función principal permitir leer los datos básicos de las órdenes de producción que se generan en el sistema de información SAP y que son almacenadas en la base de datos de la interfaz. Lectura SAP por medio de la función ExecSQL y GetResultRow lee la información contenida en los campos de la tabla Órdenes_Produccion_SAP (Tabla 1). El lenguaje estándar de consulta (SQL, por sus siglas en inglés) se utiliza para el intercambio de datos entre el programa Cosimir Control® y la base de datos. El controlador ODBC-SQL soporta dos tipos de tareas: la función ExecSql que permite el uso de un comando de tipo SQL y la función GetResultRow que devuelve una cadena de datos separadas por coma.

Tabla 1. Datos de una orden de producción

Datos orden de producción	Variables
Número de la orden	Numero_Orden
Tipo de producto	Producto
Cantidad de producto a fabricar	Cantidad
Fecha de inicio de la producción	Fecha_Inicio
Hora de inicio de la producción	Hora_Inicio
Número de productos fabricados	Terminado

Fuente: presentación propia de los autores.

Los anteriores datos son parámetros de entrada de trabajo que el plan de procesos convierte en variables globales en el programa de la operación en el Cosimir Control® con las que se deben trabajar para dar inicio a la producción.

Este plan de proceso permite analizar y establecer tres estados de la orden de producción como atrasada, coincidente y futura, al comparar la variable “Fecha_Inicio de programación” con la fecha actual, para que mientras la variable de “Fecha_Inicio de programación” sea una fecha mayor a la actual (futura) el programa descarte esa orden y comience nuevamente a leer la tabla de origen hasta que exista una orden que coincida con la fecha actual. El otro estado se presenta cuando la fecha es atrasada o menor a la actual, caso en el cual se producen inmediatamente las piezas ordenadas. El último estado se presenta cuando la fecha coincide con la actual, para lo cual el programa compara la hora de producción con la hora actual y, si ésta es mayor, vuelve a la tabla de valores hasta encontrar una coincidente para iniciar de manera puntual el proceso productivo. Una vez inicia el proceso productivo en el FMS, el plan tiene un contador en el que revisa y compara la cantidad de piezas producidas con el número solicitado de productos, el cual va disminuyendo hasta tomar el valor cero y así dar por finalizado el proceso productivo.

- **Escribe SAP:** mediante la función ExecSQL, este plan de procesos escribe en la tabla de la base de datos llamada Respuestas_CIM la información correspondiente a las órdenes de producción finalizadas en el sistema de manufactura. Las variables de este plan de proceso se obtienen del proceso de producción en el FMS para cada una de las órdenes (Tabla 2).

Tabla 2. Variables del plan de proceso Escribe SAP

Datos orden de producción	Variables
Número de la orden	Numero_Orden
Cantidad de producto a fabricar	Cantidad
Fecha de inicio de la producción	Fecha_Inicio
Hora de inicio de la producción	Hora_Inicio
Fecha de finalización de la producción	Fecha_Final
Hora de finalización de la producción	Hora_Final

Fuente: presentación propia de los autores.

- Terminado SAP: almacena en la variable #RESPUESTAS.IL el número de orden de producción que ha sido finalizado con la siguiente información: cantidad, fecha de inicio, hora de inicio, fecha final y hora final. Estos datos son enviados a una ventana de visualización para que el administrador del CIM pueda visualizar desde la pantalla del Cosimir Control® si las órdenes de producción han sido finalizadas.
- Time SAP: almacena en las variables # DATE y #TIME la fecha y hora actuales para luego utilizar en la interfaz de visualización, de forma tal que el administrador de la estación de programación y control pueda conocer por observación de la pantalla estos datos.

3. ALCANCE DE LA INTEGRACIÓN

El medio de integración desarrollado permitió automatizar el proceso de envío de órdenes de producción generadas a partir de un ciclo de negocio en SAP R/3 de una fábrica modelo hacia el sistema de manufactura flexible, al igual que la confirmación de órdenes terminadas en el sistema de manufactura hacia la fábrica modelo diseñada en el sistema ERP. Este desarrollo implica ahorros de tiempo y de documentos en el trámite de la información, disminuyendo los errores de digitación al evitar procesos manuales de ingreso de información. Al haber incluido el computador maestro que maneja el FMS a la red de la Universidad, se pueden enviar órdenes de producción desde cualquier equipo de dicha red que cuente con la instalación de SAP R/3.

A continuación se enumeran los resultados específicos alcanzados con este proyecto:

- Desarrollo de un sistema de capa intermedia para integrar de manera exitosa el sistema de manufactura flexible con un sistema de información SAP R/3®.
- Fabricación de un producto en un ambiente completamente automatizado mediante el uso de FMS y ERP.
- Ampliación y consolidación de la funcionalidad del CIM al lograr la integración del FMS existente con un ERP. Este desarrollo permitió

el manejo del controlador programable Cosimir Control® en forma remota desde computadores de la red del campus de la Universidad.

- Desarrollo de una fábrica modelo con procesos administrativos y operativos de planeación y ejecución de la producción para llevar a cabo la emulación y simulación de procesos industriales de empresas de manufactura, específicamente del sector de metalme-cánica.

4. CONCLUSIONES

- En condiciones controladas de laboratorio se llevaron a cabo operaciones de manufactura y procesos de administración de la información para una fábrica modelo. Esta experiencia se constituye en un primer paso para solucionar problemas específicos de la industria relacionados con la integración de los sistemas productivos.
- Investigaciones aplicadas a la integración de los sistemas productivos y de información son de especial importancia para los sectores productivos, en donde una mejora en tal sentido repercute en los costos y los tiempos asociados a la planeación y ejecución de la producción.
- Es de vital importancia para las organizaciones contar con sistemas de información y de manufactura que operen de manera integrada y permitan la adquisición y control de información en línea y en tiempo real para la realización de una toma de decisiones acertada.
- En el momento de desarrollar la integración de diferentes sistemas es necesario tener en cuenta las restricciones que se pueden presentar durante la transmisión de los datos, ya que éstas pueden generar pérdidas de información, atribuidas específicamente a la sensibilidad del sistema al tráfico adicional o extraño presente en una red de información.

5. REFERENCIAS

- AGUIRRE, Santiago *et al.* *Informe técnico del proyecto de investigación: Integración del sistema de Planeación de Recursos Empresariales (ERP) de SAP® con el sistema de Manufactura Integrada por Computador (CIM) en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- AVLONITIS S. A., PAPPAS, M., MOUTESIDIS, K., AVLONITIS, D., KOUROUMBAS, K. y VLACHAKIS, N. "PC Based SCADA System And Additional Safety Measures for Small Desalination Plants". *Desalination*. 2004, vol. 165, p. 165-176.
- CABALLERO VILLALOBOS, Juan P. y MEJIA, Gonzalo. "Redes de Petri y algoritmos genéticos una propuesta para la programación de sistemas de manufactura flexible". *Ingeniería y Universidad*. 2006, vol. 10, núm. 1, p. 55-75.

- CAPUZ, Salvador. *Introducción al Proyecto de Producción: Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. México: Alfaomega, 2001. 218 p. ISBN 970-15-0664-2.
- DETTMER, William. *Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance* [Recurso en línea]. <<http://www.goalsys.com/books/documents/TOCandLeanPaper-rev.1.pdf>> [Consulta: 12-11-2006].
- DHINESH KUMAR, K., KARUNAMOORTHY, L., ROTH, H. T. y MIRNALINEE, T. An Infrastructure for Integrated Automation System Implementation. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. 2004, vol. 16, num. 2, p. 183-199.
- FESTO. *Manual ICIM A004, 2*. Denckendorf: Festo Didactic, 2003.
- GENG, Hwaiyu (ed.). *Manufacturing Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2004. 1176 p. ISBN 0-07-139825-2.
- HONG, Xu y JIANHUA, Wang. Using Standard Components in Automation Industry: A Study on OPC Specification. *Computer Standards & Interfaces*. 2006, vol. 28, p. 386-395.
- MONTOYA, Jairo Rafael. Procedimiento jerárquico basado en optimización y simulación para la gestión de vehículos en sistemas automatizados de manufactura. *Ingeniería y Universidad*. 2006, vol. 10, núm. 1, p. 77-96.
- ONUH, S. O. y HON, K. K. B. Integration of Rapid Prototyping Technology into FMS for Agile Manufacturing. *Integrated Manufacturing Systems*. 2001, vol. 12, núm. 3, p. 179-186.
- s. a. Construcciones del siglo XXI. Automatización. *Construdata*, 1997, núm. 100, p. 1-2.
- s. a. El Revolcón en Cemex. El Cemento en el Ciberespacio. *Revista Dinero*. 1998, núm. 66, p. 88-95.
- SHANG, Jen y SUEYOSHI, Toshiyuki. Theory and Methodology: A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System. *European Journal of Operational Research*. 1995, vol. 85, núm. 2, p. 297-315.
- SHAYAN, Ebrahim y CHAO-LIANG, Liu. Tool Management in Flexible Manufacturing Systems. *Integrated Manufacturing Systems*. 1995, vol. 6, núm. 4, p. 26-36.
- STANESCU, A. M. *et al.* Supervisory Control and Data Acquisition for Virtual Enterprise. *International Journal of Production Research*. 2002, vol. 40, núm. 15, p. 3545-3559.