

# Implementación de un sistema de supervisión y control para un proceso de fabricación y ensamble de piezas en un sistema de manufactura flexible (FMS)

Juan Manuel Rodríguez Cifuentes / Diego Felipe Beltrán García  
William Roberto Enciso Núñez\* / Carlos Augusto Toledo Bueno\*\*

Fecha de envío: 21 de marzo de 2009  
Fecha de aceptación: 13 de julio de 2009

## RESUMEN

Este trabajo presenta un método aplicado para la implementación de un sistema de control y monitoreo en un proceso de fabricación, el cual consiste en el desarrollo de un sistema de manufactura flexible en el laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de La Salle en Bogotá, Colombia. En este artículo se muestra cómo se supervisa y controla el proceso realizado por cinco diferentes estaciones que fabrican y ensamblan dos piezas, mediante un computador remoto y un módulo central, los cuales comunican los diferentes PLC pertenecientes a cada estación a través de la red Ethernet, mediante la integración de todas las variables de control en una herramienta como el servidor OPC. Finalmente, se representan en forma gráfica los estados del sistema y de cada estación por medio de una aplicación en *software* desarrollada en LabVIEW.

**Palabras clave:** supervisión, control, sistema de manufactura flexible, Ethernet, interfaz hombre-máquina.

## IMPLEMENTATION OF A SUPERVISION AND CONTROL SYSTEM FOR A MANUFACTURING AND ASSEMBLING PARTS PROCESS IN A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

### ABSTRACT

This paper presents a method used to implement a monitoring and control system in a manufacturing process, which consists of the development of a flexible manufacturing system at the CAD / CAM's laboratory at the *La Salle University in Bogotá, Colombia*. This article shows how this process is monitored and controlled by five different stations that produce and assemble two parts by a remote computer and a central module, that connect different PLC's belonging to each station through the Ethernet network, integrating all the control variables in a tool such as the OPC-SERVER and finally it's use a LabVIEW software application to plot the system state and the performance of each station belonging to the manufacturing system.

**Keywords:** supervision, control, flexible manufacturing system, Ethernet, human-machine interface.

\* Estudiantes Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, Universidad de La Salle. Correos electrónicos: jrodriguez50@unisalle.edu.co, dbeltran28@unisalle.edu.co y wenciso35@unisalle.edu.co, respectivamente.

\*\* Candidato a doctor en ingeniería mecánica Universidad Federal de Uberlândia, Brasil. Correo electrónico: ctoledo@mecanica.ufu.br

## INTRODUCCIÓN

Debido al gran avance de la tecnología y la informática en los últimos tiempos, se han creado nuevas técnicas y metodologías para los procesos de manufactura, en los cuales se busca la integración de sus operaciones y la automatización total de los equipos (Groover, 2001). En esta integración adquiere gran importancia la estación central, encargada de supervisar y controlar todo el proceso desde el inicio, junto con los tiempos de producción, transporte, coordinación entre equipos, indicaciones visuales de funcionamiento por cada estación, manejo de alarmas tanto locales (estaciones) como generales (sistema de manufactura flexible); asimismo, representa gráficamente y en tiempo real todo el proceso.

Los sistemas de control y monitoreo se basan en computadores que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo (Groover, 2001). Asimismo, se apoyan en el manejo de señales que son procesadas por computador digital, y por medio de una lógica programada se obtiene una respuesta que actúa sobre el proceso con un propósito definido.

Para efectos de este proyecto, en efecto, se diseñó y aplicó un método para la implementación de un sistema de supervisión con base en la comunicación de las diferentes estaciones a través de Ethernet, con el fin de integrar el proceso de manufactura para la fabricación de dos piezas y su ensamble en el FMS de la Universidad de La Salle. Éste se desarrolló e implementó en un tiempo aproximado de tres meses, en el cual se programó cada estación, a saber: alimentación del material en bruto, el proceso de mecanizado para el desarrollo de las piezas, limpieza y aplicación de aditivos, control de calidad y, finalmente, ensamble y descarga.

A continuación se describe la metodología implementada en el módulo central o estación de supervi-

sión con el fin de representar gráficamente el estado del sistema de manufactura flexible en tiempo real, y, asimismo, cómo se manipularon las diferentes señales del proceso con el propósito de lograr la integración y la coordinación entre las diferentes estaciones de trabajo.

## PROBLEMA

El FMS de la Universidad de La Salle está conformado por una estación de alimentación, una estación de manufactura (fresadora y torno), una estación de procesos, una estación de control de calidad y una estación de ensamble. Cada una funciona de manera independiente y tiene su propio sistema de control por medio del cual se programa dependiendo del propósito para el cual se requiera. El dispositivo encargado de controlar cada una de las estaciones es un PLC Siemens S7-300, instalado en éstas que –además de controlar sus funciones– también permite la integración con otros procesos por medio de una red de información industrial cuyas propiedades deben ser configuradas dependiendo del propósito específico requerido (Balcells y Romeral, 1998).

Para llevar a cabo todo el proceso es necesaria la integración de todas las estaciones, con el fin de coordinar y optimizar el proceso y, de esta forma, alcanzar el objetivo de un sistema de manufactura integrado por computador (CIM). Las estaciones del sistema de manufactura en el cual se desarrolló el proyecto se describen a continuación.

## ESTACIÓN DE ALIMENTACIÓN

La función principal en este equipo consiste en seleccionar y clasificar las piezas en bruto, dependiendo del tipo de mecanizado por desarrollar, bien sea material para torneado o fresado, junto con la alimentación de las bandejas de soporte sobre una banda transportadora. El módulo se comunica con la estación central con el fin de informar cuál es el

tipo de material para mecanizar, las existencias, si el proceso está detenido por atascamiento o se activa un paro de emergencia, de tal forma que responda con determinada acción de control en la estación o sobre el proceso.

### **ESTACIÓN DE MANUFACTURA FLEXIBLE**

Ésta está compuesta por un torno CNC Emco PC Turn 120 y una fresadora CNC Emco PC Mill 100. La estación se encarga de realizar procesos de mecanizado de las piezas provenientes de la estación de alimentación. El material es ubicado en forma manual en las máquinas de CNC. Al terminar el proceso de mecanizado, el operario recoge las piezas y las coloca de nuevo en la banda con el fin de seguir con los procesos destinados para éstas.

La estación de supervisión central en comunicación con este módulo, adquiere la información del estado del mecanizado (es decir, en espera de material, en proceso de mecanización, en paro de emergencia).

### **ESTACIÓN DE PROCESOS**

Por medio de un robot cartesiano de tres grados de libertad, las piezas mecanizadas pasan por el torno por diferentes etapas para lograr un acabado final. Estas etapas son: limpieza de suciedad y pintura mediante agua jabonosa alcalina, lavado de residuos de suciedad, inmersión en ácido fosfórico para decapado superficial de la pieza, enjuague bajo agua corriente, revestimiento de aluminio con Allodyne, enjuague bajo agua corriente y secado del aluminio revestido.

Este módulo entrega información a la estación central de su estado de funcionamiento, indicando si éste se encuentra en proceso, esperando pieza mecanizada o si se encuentra activo el paro de emergencia.

### **ESTACIÓN DE VISIÓN ARTIFICIAL**

En este módulo se hace el control de calidad de la pieza para fabricar. Esta estación se divide en dos partes, las cuales son integradas para que funcione adecuadamente la cámara de visión artificial DVT. Mediante patrones establecidos ésta evalúa que la pieza mecanizada tenga las dimensiones requeridas para posterior ensamble, y el brazo robótico de cinco grados de libertad, Movemaster Ex, el cual realiza el posicionamiento de la pieza frente a la cámara, con el fin de determinar el perfil de la pieza elaborada y, así, rechazar una pieza defectuosa o la ubica en la estación siguiente si cumple con las especificaciones.

Las variables controladas de este módulo por la estación central son: si el módulo se encuentra en proceso de evaluación de la pieza, la verificación que la pieza cumpla o no con los requisitos dimensionales y si la estación se encuentra en paro de emergencia.

### **ESTACIÓN DE ENSAMBLE HIDRÁULICO**

El módulo de ensamble hidráulico consta de un brazo manipulador de cuatro grados de libertad de accionamiento hidráulico y una prensa hidráulica de ensamble. La función de esta estación consiste en realizar el ensamble de las piezas mecanizadas una vez aprobado el control de calidad. Dicho ensamble sólo se realiza cuando el módulo de visión artificial haya efectuado el correspondiente control de calidad de cada una de las piezas, con base en las tolerancias dimensionales y geométricas, y una vez sitúe cada una en la prensa hidráulica mediante el brazo manipulador Movemaster Ex, el cual ubica primero la pieza fresada en la base y, luego, sostiene la pieza torneada mientras el cilindro hidráulico las ensambla.

La estación central es la encargada de iniciar este proceso de ensamble, al recibir una señal proveniente

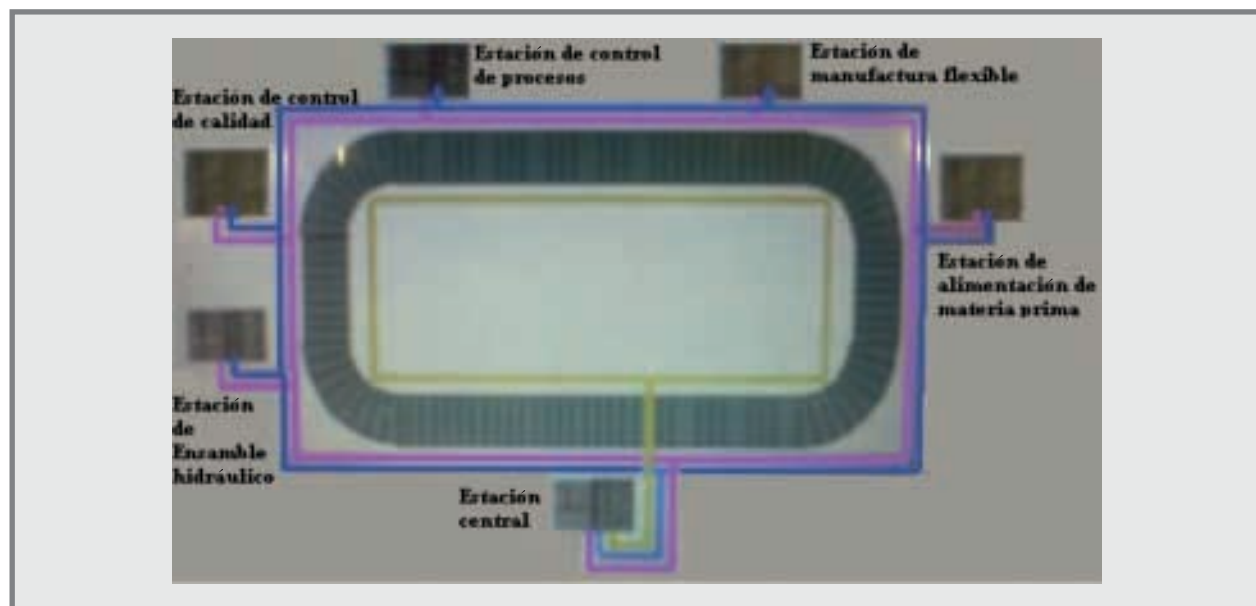
del módulo de visión artificial. De acuerdo con esto, se establece que la estación se encuentra en proceso o lista para iniciar, y, asimismo, si en algún instante del ensamble se activa alguna alarma de emergencia.

### ESTACIÓN CENTRAL

Ésta es la encargada de supervisar y controlar las señales del proceso en general, además de la ban-

da transportadora y del encendido de las balizas de acuerdo con el estado de cada una de las estaciones. Cuenta además con una interfaz hombre-máquina (HMI), que permite al operario observar en tiempo real, los estados mencionados anteriormente y ejercer el control desde ésta. En la figura 1 se muestra la disposición física del sistema de manufactura flexible.

Figura 1: Sistema de manufactura flexible.



Fuente: Elaboración de los autores.

### IMPLEMENTACIÓN

El sistema se implementó con el fin de que tuviera la capacidad de supervisar una línea de producción en la cual los tiempos de mecanizado del torno fueran menores que los de la fresadora. Esta diferencia en tiempos se consideró de gran importancia ya que un mal manejo de éstos puede producir congestión o cuello de botella en el proceso, generando pérdidas en la producción y una disminución de la eficiencia.

Otra característica con la cual se diseñó este sistema es que la línea de producción debe tener la posibili-

dad que en el módulo de visión artificial haya rechazos de productos defectuosos, y dado que el producto terminado consiste en el ensamble de dos piezas –una torneada y otra fresada–, esto implicaría que la pieza no defectuosa y maquinada para el ensamble tenga que quedar en línea de espera.

En el sistema implementado, cuando una pieza es rechazada, éste envía una señal al módulo de alimentación con el fin de que suministre una pieza de materia prima adicional de la que fue rechazada. De esta forma se suple la ausencia de la pieza rechazada en la estación de control de calidad.

Para poder implementar esta función, fue necesario poner en práctica una nueva variable la cual es leída desde el módulo de visión artificial y en ésta se indica la aprobación o no de la pieza analizada, y de acuerdo con esto, la estación central toma una decisión a partir de un método determinado, y envía una variable a la estación de alimentación en la que le indica que debe proceder a alimentar el material respectivo.

Para la implementación del sistema de supervisión en el proceso, se definieron las variables que debían ser controladas en cada estación (tabla 1), y se elaboró una tabla lógica con valores booleanos en la cual se representan todas las posibilidades en cuanto a los estados de funcionamiento de cada estación y los paros de emergencia presentes en el sistema, tanto locales (paro de proceso de una estación sin afectar las demás) como generales (paro de proceso completo debido a una falla de gran magnitud).

**Tabla 1: Variables para controlar.**

Variable de Control	Estación de alimentación	Estación de manufactura	Estación de procesos	Estación de visión artificial	Estación de ensamble hidráulico
Paro de emergencia	O	O	O	O	O
En proceso	O	O	O	O	O
Listo para empezar	O	O	O	O	O
Falta materia prima	O	X	X	X	X
Pieza aceptada	X	X	X	O	X
Pieza rechazada	X	X	X	O	X

O = Variable para controlar. X = Variable para no controlar.

**Fuente:** Elaboración de los autores.

Después de elaborar la tabla con todos los casos que se puedan presentar durante el proceso, se implementó esa lógica en el programa PLC, para lo cual fue necesaria la creación de diferentes marcas de memoria que representan cada una de las variables por controlar provenientes de cada estación (variables de entrada), las respuestas obtenidas acorde con lo programado (variables de salida) y las variables internas que facilitan la lógica de programación (Mandado, *et ál.*, 2005).

Para el manejo de las balizas, se tuvo en cuenta la estructura del protocolo AS-Interface, que está compuesto por siete esclavos, de los cuales cinco son balizas y dos son puentes para éstas. Su funcionamiento se basa en la asignación de una configuración de *bits* de acuerdo con la baliza y el color que se desee activar según el tipo de señal (tabla 2).

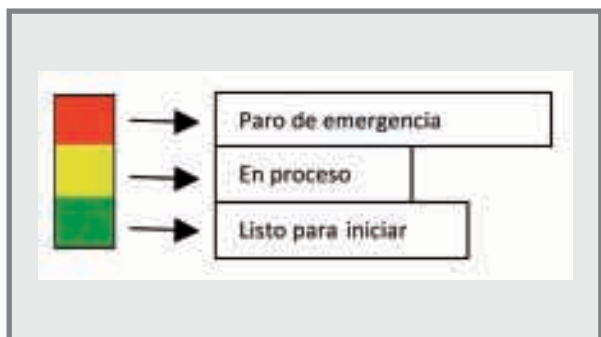
**Tabla 2: Configuración de las balizas con base en el protocolo AS-Interface.**

Bits						
	64	32	16	8	4	2
273				Estación de alimentación		
				Rojo	Amarillo	Verde
274	Estación de procesos			Estación de manufactura		
	Rojo	Amarillo	verde	Rojo	Amarillo	Verde
275	Estación hidráulica			Estación de visión artificial		
	Rojo	Amarillo	Verde	Rojo	Amarillo	Verde

Fuente: Elaboración de los autores.

Cada color de determinada baliza representa un estado diferente en cada estación, según el código de la figura 2.

**Figura 2: Código de colores según el estado de la baliza.**



Fuente: Elaboración de los autores.

Para establecer la comunicación, se utilizó el protocolo de configuración de red Ethernet por medio de un servidor OPC, el cual administra las variables de tal forma que con la creación de diferentes canales

asignados para cada estación, lea y permita el acceso a éstas por medio de una aplicación en *software* LabVIEW, como intermediario para que la estructura programada en el *software* PLC, Step 7, realice su respectiva acción de control de acuerdo con la lógica establecida.

Una de las ventajas de la comunicación establecida para el proceso, es el fácil acceso de cada una de las estaciones a las variables, lo que les permite la comunicación entre sí, independiente del estado del servidor. Para la implementación de la interfaz hombre-máquina (HMI), figura 3, se utilizó el *software* LabVIEW versión 7.0 (Lajara, 2007), el cual permitió la representación gráfica de los estados de las estaciones, las balizas, el encendido y el apagado de la banda transportadora, y la activación y desactivación de los diferentes paros de emergencia del proceso. Además, por medio de esta interfaz se puede dar comienzo al proceso de ensamble de la estación hidráulica.

**Figura 3: Interfaz de control en software LabVIEW.**

Fuente: Elaboración de los autores.

## EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

Una vez implementado el sistema se procedió a realizar las pruebas correspondientes, se llevó a cabo un primer proceso de fabricación de las piezas para ensamble, y se evaluaron los resultados. En esta prueba, el sistema tuvo la capacidad de recibir, procesar y controlar las señales presentes en el proceso y mostró el estado de cada estación usando las balizas.

Una vez revisado el envío de señales y el funcionamiento de las balizas, se procedió a comprobar el funcionamiento de la interfaz hombre-máquina (HMI). Para esto se puso en funcionamiento la banda transportadora y las cinco balizas, cuya prueba visualizó gráficamente el estado de cada estación, y en general el de la producción completa, durante todo el tiempo del proceso.

Posteriormente se probaron los dos paros de emergencia que funcionaban de forma independiente: general y local. El primero, con activación desde el módulo de supervisión, detuvo el proceso en su totalidad cuando se generó un daño grave en la línea de producción. El segundo, con activación desde el módulo de supervisión y sobre cada estación, detuvo el proceso de éstas cuando el inconveniente en el funcionamiento no ameritaba la detención total de la producción.

## CONCLUSIONES

El sistema de supervisión y control consiguió integrar las diferentes estaciones del sistema de manufactura logrando con ello una producción coordinada, monitoreada y eficiente, lo cual permitió que el proceso se desarrollara en su totalidad y lograra el ensamble final de las piezas.

Aunque hubo retraso en la respuesta del sistema, no afectó en gran medida la producción de las piezas y el funcionamiento de cada una de las estaciones, aunque sí se considera un factor para mejorar ya que en caso de daño grave durante el proceso, la respuesta no sería inmediata, y este periodo sería fundamental para evitar un daño mayor.

El sistema funcionó de forma continua, en el lapso dentro del cual se realizaron diferentes ensambles, mostrando eficiencia en cuanto a la repetitividad de procesos, coordinación entre las estaciones y evitando posibles cuellos de botella debido al tiempo de trabajo que requeriría cada estación para desarrollar su respectiva tarea. En la interfaz gráfica se logró visualizar y controlar de manera sencilla, los diferentes eventos ocurridos durante el proceso.

Asimismo, se observó que el sistema de supervisión toma más tiempo de lo esperado para responder a determinado evento y ejercer la acción de control, debido a que la configuración de la red Ethernet del laboratorio no es apropiada para esta aplicación por no ser independiente de la red general de la universidad, lo que generó congestión en unas horas específicas y, con ello, retraso en las respuestas del sistema.

A partir de este proyecto se continúa trabajando para optimizar el proceso en cuanto a tiempos de producción, velocidad de respuesta del sistema y mejoras en la configuración de la red; además, la posibilidad de supervisar y controlar mayor número de variables en cada estación.

En un sondeo realizado en instituciones universitarias a nivel nacional que cuentan con programas académicos afines al de la Universidad de La Salle, se encontró que la Universidad del Norte cuenta con una interfaz OpenCIM, la cual constituye un sistema integrado de manufactura y se encuentra dotada con equipos reales (estaciones de alimentación de materia prima, estaciones de mecanizado, control de calidad y ensamble) que permiten al estudiante crear un contacto con sistemas acordes con los ambientes industriales. Esta institución hace mención a la gran importancia que tiene el procesamiento distribuido respecto a la robustez funcional del sistema, pues justifican que –con este tipo de aplicación– se da apertura a distintos dispositivos para que cumplan tareas de manera simultánea al mantener una comunicación continua entre sí (Zuerk, Vadalá y Heredia, 1999). En este punto desempeña un papel bastante importante el sistema de supervisión propuesto para el desarrollo de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento al ingeniero Pedro Fernando Martín Gómez por las correcciones y sugerencias para el desarrollo del proyecto, y a nuestros compañeros quienes programaron los módulos con los cuales consolidamos la integración completa del modelo CIM.



## REFERENCIAS

- Balcells, J. y Romeral, J. *Autómatas Programables*, Alfaomega, México, 1998.
- Cely, E. y Ossa, J. C. *Sistema de supervisión y control, con monitoreo vía Internet de las estaciones central, FMS y control de procesos para el laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de La Salle*. Universidad de La Salle, 2005.
- Groover, M. P. *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, 2001.
- Lajara, J. *LabVIEW. Entorno gráfico de programación*, Alfaomega, 2007.
- Mandado, E. , Acevedo J., Fernández C. Arnesto J. y Perez S. *et ál. Autómatas Programables: entorno y aplicaciones*, Thomson, 2005.
- Zurek, E.; Vadalá, S. y Heredia, J. *Identificación de la red de la sala CIM del Laboratorio de Robótica de la Universidad del Norte*, 1999.