

## RESUMEN DE TESIS DOCTORAL

# Tiempo real en los sistemas de manufactura flexible automatizado

## *Automated Flexible Manufacturing System in Real-Time*

**Gabriel Hernández López**

*Graduado el 27 de Junio del 2008*

Escuela de Ingeniería, Universidad Panamericana

México, D. F.

gahlope@up.edu.mx

**Director: José de Jesús Medel Juárez**

Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional

México, D. F.

jjmedelj@yahoo.com.mx

**Resumen.** Este trabajo formaliza las propiedades que definen e integran a un Sistema de Manufactura Automatizado en Tiempo Real (*SMFaTR*), a través de un conjunto de conceptos teóricos de Tiempo Real (*TR*) aplicables a un Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (*SMFa*) descrito por actividades y operaciones atómicas en común, como son: las señales de entrada para iniciar cualquier rutina, activación de señales de salida, el tiempo de inicio de la operación, el tiempo máximo de operación, fallas de operación, actividades de reinicio y el tiempo total de operación. Esta formalización de conceptos contribuye para el diseño y re-diseño de un *SMFa* en su estructura de control logrando una sincronía de comunicación entre sus componentes.

**Palabras clave.** Manufactura flexible automatizada, tiempo real, señalización y control.

**Abstract.** This document formalizes the properties that define and integrate an Automated Manufacturing System in Real Time (*aMSTR*), through a set of theoretical concepts of Real Time (*RT*) applicable to an Automated Flexible Manufacturing System (*aFMS*) described by activities and atomic operations in common, as are: the input signals to start any routine activation, an activation of output signals, the start time of the operation, the maximum time of operation, operation failure, restart activities and the total time operation. These concepts formalization contributes to the design and re-design of a structure *aFMS* control in achieving communication synchrony between its components.

**Keywords.** Automated flexible manufacturing, real-time, signals and control.

## 1 Introducción

Un Sistema de Manufactura Flexible (SMF) está dinámicamente interactuando con su medio ambiente, lo cual afecta en la operación general. Los cambios se deben: a) al número de productos a fabricar, b) el ciclo de vida del producto y, c) a la gama de productos a manufacturarse dentro del SMF. Esto trate como consecuencia la preparación de los dispositivos de sujeción, la programación de los diferentes elementos automáticos (robots, actuadores, centros de maquinado, sistemas de inspección, etc.) y al registro de información.

Requiriendo que el SMF este en sincronía con todos los elementos automáticos que interactúan con él y proporcione en los ámbitos de información, programación y operación en tiempo real (TR). En este artículo se formalizan los conceptos de SMF y TR como un solo concepto expresándose como Sistema de Manufactura Flexible en Tiempo Real (SMFTR).

## 2 Estado del arte de los sistemas de manufactura flexible automatizados (SMFa) y tiempo real (TR)

Un SMFa está dinámicamente interactuando con un medio ambiente de producción, lo cual afecta a su operación en general, de acuerdo con: a) al número de productos a fabricar, b) el ciclo de vida del producto en el proceso productivo y, c) a la gama de productos a manufacturarse. Esto trate como consecuencia: I) la preparación de los dispositivos de sujeción, II) la programación de los diferentes elementos automáticos (robots, actuadores, centros de maquinado, sistemas de inspección, etc.) y III) el registro de información de la cadena productiva, así como los tiempos de producción de cada uno de sus elementos o tiempos de espera para integrar a un producto. De forma que los elementos que los componen requieren estar en sincronía en su comunicación y, con restricciones de tiempo, es decir, su programación debe ser en TR.

Con lo anterior la investigación se dirigió a la formalización de conceptos para los SMFa en TR, su desarrollo fue a través de la atomización de los procesos de programación en su estructura de control, logrando así una sincronía de señales de todo el sistema. Por tanto la formalización de conceptos es la siguiente:

Definición 1 (Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (SMFa)). Es un sistema digital integrado por maquinas-herramientas enlazadas mediante un sistema de manejo de materiales operados automáticamente [1], [3], [4] y [5].

Definición 2 (Sistema en Tiempo Real (STR)). Es aquel sistema digital que interactúa activamente con un entorno con dinámica conocida en relación con sus entradas, salidas y restricciones temporales, contando con un correcto funcionamiento de acuerdo a los conceptos de estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad [2].

La interacción con el mundo real está determinada por la demanda del producto sobre una taza específica y con una calidad definida, además de la posibilidad de entregar respuestas en el mínimo tiempo y según la complejidad de la programación dentro de la cadena productiva.

Las anteriores definiciones en conjunto establecen la base del funcionamiento automatizado de un SMFa, teniendo como resultado una definición integral.

## 3 Sistema de manufactura flexible automatizado en tiempo real (SMFaTR)

Un SMFa que esta dinámicamente interactuando con su medio ambiente del cual recibe e integra materia a un producto, respectivamente. Es un sistema digital que se encuentra afectado por un grupo de estados y operaciones dentro de la cadena productiva de hardware y software que lo compone.

En el SMFa, se consideran cambios para obtener un grupo de productos dentro de un proceso de manufactura acotado y se debe: a) al número de productos a fabricar por cada gama, b) el ciclo de vida del producto y del proceso de manufactura y, c) a la gama de productos a manufacturarse en un tiempo límite. Esto trae como consecuencia la preparación de los ciclos de trabajo del sistema, a través de la programación de los diferentes elementos automáticos (robots, actuadores, centros de maquinado, sistemas de inspección, etc.), el registro de información en relación a las tolerancias y tipo de calidad del producto, cumpliendo con especificaciones predeterminedas por el grupo de restricciones [1], [3], [4] y [5].

Considerando lo anterior este tipo de sistemas requiere entregar cada uno de sus productos en forma concurrente dentro de un intervalo de tiempo predefinido por el proceso real, ya que el SMFa se convierte en un solo recurso para múltiples procesos que interactúan y permiten cumplir con la entrega total de los lotes que tienen que trabajarse.

Definición 3 (Sistema de Manufactura Flexible Automatizado en Tiempo Real (SMFaTR)). Es un Sistema donde la sincronía entre cada uno de sus componentes  $C_j^i$  (operaciones atómicas realizadas por cada herramienta) permite que se cumpla en forma temporal la secuencia establecida en  $\mathfrak{S}_{EOT}$  (el ciclo de trabajo) y que se realice la entrega del producto de acuerdo a las

restricciones de tiempo impuestas por el proceso en la alimentación y de la entrega del producto sin demerito de una calidad preestablecida y medible.

Es llamado *SMFaTR* aquel sistema de manufactura en el que por pares de espacios de operaciones se cumple que  $\bigcap_j \mathcal{J}_{EOT}^j \neq \phi$

donde  $j$  s el ciclo del proceso. Es decir, que de acuerdo al concepto de *SMFa*, esta clase de sistemas deben interactuar con más de dos ciclos o procesos, lo que significa que el conjunto de componentes y operaciones tienen que ser utilizadas por diferentes tiempos y procesos, sin llegar al conflicto entre la señalización

$$\bigcap_j \mathcal{J}_{EOT}^j \neq \phi$$

La aplicación de los conceptos definidos en esta investigación fue empleada en la re-programación de un *SMFa* que tiene a un Controlador Lógico Programable (*PLC*) como medio de interacción de las señales de todos los elementos, dispositivos e instrucciones de cada producto. Es decir en el *PLC* se desarrolla la asignación concurrente de todas las actividades del *SMFa* para múltiples procesos que cuente con las restricciones de *TR*.

#### 4 Ejemplo de la asignación concurrente del *SMFaTR*

La experimentación se realiza en un *SMFa*<sup>1</sup> para dos productos: 1. Fabricación y ensamble de un cronometro y 2. Fabricación y ensamble de un sistema de rodamiento [5]. Estos dos productos se requieren desglosar en operaciones atómicas con tiempos determinados de ejecución, determinado por la complejidad de la misma operación y estableciendo prioridades en cada una de sus operaciones. El *SMFa*, está integrado por tres estaciones de trabajo: Almacén, Maquinados, inspección y Ensamble dotadas de dispositivos automáticos, donde se comprueba cualitativamente y cuantitativamente su calidad y sincronía de las operaciones, de acuerdo con [4] y [2]; esto es, sus condiciones temporales son:

$$T_{T_o} = 0.2T_i + 0.015T_e + 0.4T_{R_{F1}} + 0.2T_{R_{F1}} + \dots + 0.01T_{R_{F6}} \leq t_{p,1}$$

$$T_{T_o} = 0.3T_i + 0.025T_e + 0.25T_{R_{F1}} + 0.1T_{R_{F1}} + \dots + 0.06T_{R_{F6}} \leq t_{p,2}$$

donde:  $T_{Tp}$  = Tiempo total de operación.,  $T_i$  = Tiempo de inicio.,  $T_e$  = Tiempo de ejecución.,  $T_{Rf1}$  = Tiempo de recuperación de falla 1.,  $T_{Rf2}$  = Tiempo de recuperación de falla 2.,  $T_{Rf6}$  = Tiempo de recuperación de falla 6.,  $t_{p,1}$  : Tiempo del ciclo del proceso.

Los coeficientes del polinomio en su sumatoria no serán mayores al 100%, por cada proceso a realizar; y la operación seleccionada entre ambos procesos dependerá del peso que tenga el polinomio en el tiempo especificado.

El espacio de las condiciones temporales llevadas al proceso de programación del *PLC* se encuentran acotadas por los plazos de entrega de producto y muy importante, al manejo de las señales, que son las que hacen una comunicación efectiva para la sincronía que el sistema requiere. Esto se logra siempre y cuando la matriz de coeficientes del espacio de condiciones temporales sea inverso y así otorgar los tiempos de operación más adecuados que cumplan las restricciones de un *TR*.

#### 5 Conclusiones

La ejecución de las operaciones del *SMFa* bajo la estructura de control del *PLC* otorgo procesos reales que emitían respuestas correctas y en sincronía con los procesos adyacentes que forman parte de la cadena productiva dentro de un ciclo de trabajo.

La descripción teórica del *SMFa* permite observar que esta clase de sistemas operan en forma digital con restricciones y sincronía entre subprocesos, cumpliendo las propiedades de *TR*.

Se observó que la programación del *PLC* depende de los plazos de entrega de producto y muy importante al manejo de las señales y siempre se deben analizar detalladamente cual es la función de cada una de ellas.

<sup>1</sup> Equipo de manufactura automatizada de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana, Augusto Rodin 498, Insurgentes Mixcoac, C. P. 03920. México D. F.

## Referencias

1. **Boon, G. K., & Mercado, A. (1990).** *Automatización flexible en la industria; Difusión y producción de máquinas-herramientas de control numérico en América Latina.* México, D.F.: LIMUSA
2. **Guevara, P., & Medel, J. (2003).** *Introducción a los Sistemas en Tiempo Real.* México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional
3. **Oliva, E. (2001).** *Sistemas Celulares de Producción.* México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
4. **Nyman, L. R. (1992).** *Making Manufacturing Cells Work.* Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, in cooperation with the Computer and Automated Systems Association of SME.
5. **Greenwood, N. R. (1988).** *Implementing Flexible Manufacturing Systems.* New York: Wiley.

Nacional en México, Actualmente es Profesor Investigador del Centro de Investigación en Computación y Profesor Invitado del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Miembro de la Academia de Ciencias. Sus áreas de investigación son: Filtrado Digital, Teoría de Control y Sistemas en Tiempo Real.



**Gabriel Hernández López**

Doctor en Tecnología Avanzada (2009) por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias (2003) en Ingeniería (Manufactura Avanzada) Ingeniero Industrial (1998) (Automatización y Robótica), egresado de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es investigador académico en la Escuela Ingeniería de la Universidad Panamericana.



**José de Jesús Medel Juárez**

Doctor (1998) y Maestro en Ciencias (1996) en Ingeniería Eléctrica (Control Automático) egresado del Centro de Investigación y Estudios Avanzados, es Ingeniero Aeronáutico egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, del Instituto Politécnico