

# Sistema de Manufactura Flexible con Restricciones Temporales (Descripción)

José de Jesús Medel Juárez  
CIC-IPN

Gabriel Hernández López, Jacobo Sandoval Gutiérrez  
CICATA LEGARIA-IPN

**B**ásicamente, los diseñadores de sistemas de manufactura flexible reconocen cuatro modelos definidos en el área de manufactura moderna. Sin embargo, desde hace algunos años la idea más ambiciosa respecto a estos procesos ha sido la Fábrica Flexible, en donde el objetivo principal está basado en la integración de todos los subprocesos a través de una planificación computacional, considerando en ello a todos los sistemas productivos que interactúan dentro del esquema de producción, de tal forma que dentro del sistema computacional el planificador considera variables de control acotadas por la interacción entre procesos, el volumen de producción y la variedad de productos. En este artículo, adicionamos las restricciones de tiempo como un recurso necesario dentro de los esquemas de planificación.

**Palabras clave:** *Sistemas de Manufactura Flexible, restricciones temporales.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Un Sistema de Manufactura Flexible (SMF) está integrado por máquinas-herramientas enlazadas mediante un esquema de manejo de materiales de manera automatizada y procesados lógicamente, es decir, es un sistema de producción de bienes constituido por celdas de producción<sup>1</sup>.

En términos generales un SMF está compuesto por:

- Una o varias máquinas-herramienta de control numérico computarizado (MHCNC), que desempeña tareas de maquinado usando una lista de instruc-

<sup>1</sup> Una celda de producción es la unidad de producción con alta autonomía de operación, integrada por máquinas para fabricar un tipo de pieza o producto.

ciones en clave mediante una lógica digital. Ellas son vistas como los recursos compartidos, usados por varios subprocesos.

- El Diseño Asistido por Computadora (CAD); que se utiliza para la creación de objetos por computadora con capacidades interactivas y de graficación, por medio de las cuales las fases de este subproceso pueden hacerse visibles de una manera tridimensional. [1]
- Robot, el cual es un manipulador multifuncional re-programable con varios grados de libertad, capaz de manejar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas, colocando de una manera sincronizada los materiales a ser manufacturados en el lugar de trabajo según el ciclo a desarrollar. [2]
- Dispositivos de salida (actuadores neumáticos, electroneumáticos, hidráulicos y electrohidráulicos), los cuales son los medios que habilitan o sujetan las partes que integran al producto.
- Dispositivos de entrada, que son todos aquellos sensores que alimentan al sistema con una señal digital, proveniente de la presencia de una parte del producto, el inicio o el final de una operación.
- Sistema de control, montado dentro de una computadora central (SCC) y que se encarga de coordinar todas las operaciones del sistema de manufactura flexible registrando, realizando operaciones de planificación, de monitoreo y propiamente de control de los estados del sistema de producción.

En general, los SMF cuentan con diferentes fallas, las cuales pueden ser clasificadas como recurrentes.

### 1.1 FALLAS RECURRENTE

Las fallas que tiene un SMF en su actuar repercuten en la calidad del producto, tales como los problemas de ensamble, exceso de material, deformaciones dimensionales, entre otras, y se les llama fallas de información, programación y operación.

La falla se define como el incumplimiento de una o varias de las especificaciones requeridas por el mundo físico con el cual interactúa el SMF [3]. Utilizando esta definición para el estudio de un SMF y considerando a la información en la programación y a la operación se tiene:

Una falla de información es la variación de resultados con respecto a lo establecido, mientras que una falla en programación es la falta de sincronización con el mundo físico. Por su parte, una falla en operación es cualquier incumplimiento en las especificaciones del sistema y del producto. Bajo el respaldo de todo lo anterior, se procede a plantear el siguiente análisis que fundamenta al tiempo real en los SMF.

### 1.2 PARÁMETROS DE UNA SMFTR

Para el ejemplo a desarrollar se toma como referencia un SMF en el cual se van a procesar dos productos, y que tiene operaciones atómicas que utilizan los mismos recursos y que permiten dar una respuesta sin que se pierdan las propiedades temporales por obstrucción entre ellas. Intrínsecamente requiere de cumplir con la sincronía, al igual que la entrega de cada uno de los productos, con una calidad que en promedio sea aceptable, dimensionalmente hablando.

El SMF utilizado está estructurado con tres estaciones: Almacén de Materia Prima (Robot SCARA ER-14 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), Maquinados (centro de torneado, Centro de Fresado, Robot Antropomorfo IRB 140 ABB, sistema sensorial y dispositivos electro neumáticos) e Inspección/Ensamble (Robot Antropomorfo MK-2 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), todas ellas en comunicación gracias a un sistema de red local CC-Link (Comunicación Central en línea), y como elemento de control operacional se

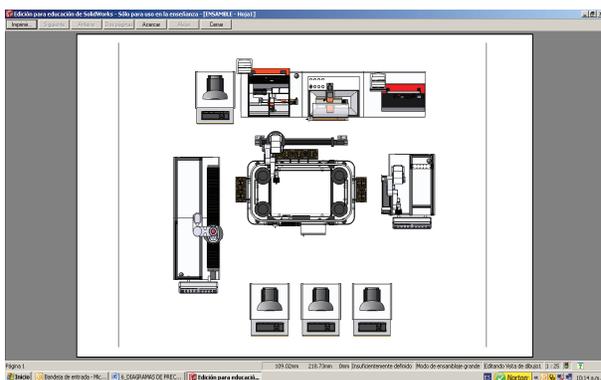


Figura 1. Esquema del SMF de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.



Figura 2. SMF de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.

tiene al Controlador Lógico Programable (PLC) el cual es programado con un lenguaje de alto nivel (Visual Basic). Cabe mencionar que cada estación cuenta con medios de información que muestran características de producción (Productos solicitados, tiempo de operación, etc.). (Ver Figuras 1 y 2).

Por tanto, y en consideración de las capacidades del SMF en términos de características geométricas, dimensionales, físicas y estéticas, los productos a fabricar son: 1) Maquinado y Ensamble de un Cronómetro y 2) Maquinado y Ensamble de un Porta-Plumas. (Figura 3).

Estos dos productos se desglosan por operaciones atómicas de cada producto, y además requieren de un tiempo determinado para su ejecución, el cual está determinado por la complejidad de la misma operación. En las tablas se observa su interacción con cada parte del sistema, además de los tiempos de ejecución de cada operación; sin embargo, para cuestiones de adaptabilidad de un control eficiente en un SMFTR es necesario considerar el flujo de proceso como un diagrama de precedencia integrado.

El cronómetro consta de dos partes: Contenedor y Reloj; mientras que el Porta-Plumas tiene Base y Pluma.

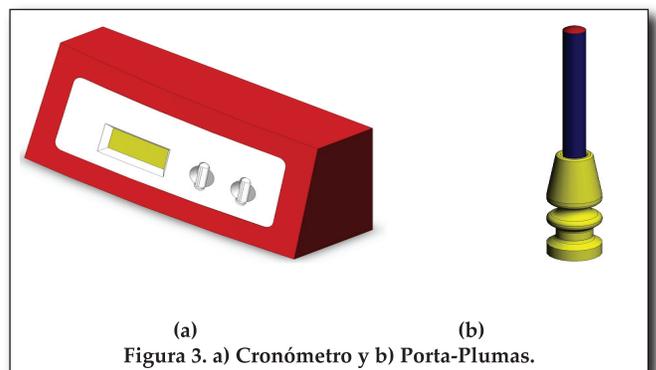


Figura 3. a) Cronómetro y b) Porta-Plumas.

Productos	Partes del Producto	Estación				
		Almacén	Maquinados		Inspección y Ensamble	
			Torneado	Fresado	Inspección	Ensamble
Cronometro	Contenedor					
	Reloj					
Porta-Plumas	Base					
	Pluma					

**Tabla 1. Desarrollo de manufactura de los dos productos en el SMF.**

Su desarrollo en el proceso de manufactura se muestra en la **Tabla 1**. Realizando un estudio se obtuvieron los tiempos de cada operación (Ver **Tabla 2**). Es importante considerar que el tiempo de transporte a cada estación es de 5 s, por tanto para el Cronómetro se tiene un tiempo total de 173 s y para el Porta-Plumas es de 133 s.

En estas condiciones y para producción en línea, considerando que se requieren producir 100 Cronómetros y 100 Porta-Plumas, el tiempo de entrega sería tomando de referencia que la primera orden de producción es de los cronómetros, con un parcial de 4.80 hrs, y con 3.69 hrs. para el Porta-Plumas; así, el tiempo total de entrega es de 8.49 hrs.

Para las condiciones de un SMFTR que no sea de proceso en línea y en que toda acción corresponde a un proceso FIFO (FIRST INPUT/FIRST OUTPUT), además de poder tomar decisiones con base en la disponibilidad

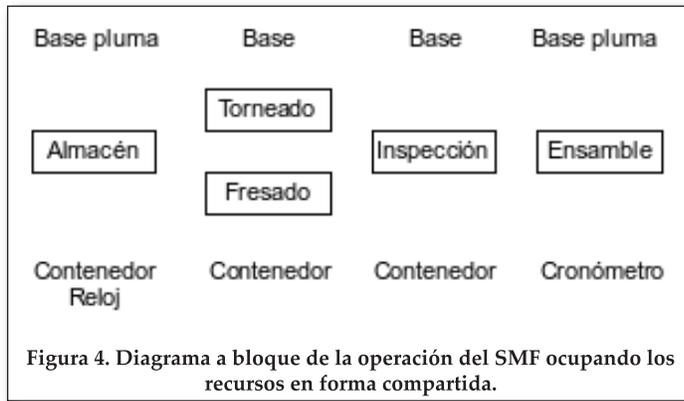
de los recursos, permitiendo que en todo momento el equipo este en operación, es decir un flujo combinado serie-paralelo, ejecutando n-duplas de operaciones. **Figuras 4 y 5.**

Con estas consideraciones, las cuales son las ideales de operación de un SMF, se tiene que el tiempo de entrega será el de producción del Cronómetro, es decir, 4.80 hrs., lo que representa una eficiencia del 43% en el sistema, y considerando que el SMF cuenta con sus componentes independientes y comunicados entre ellos a través de una red local CC-Link, en sincronía con el entorno gracias a sus I/O cumpliendo con respuestas aleatorias y temporales impuestas por el ciclo del proceso.

Las operaciones realizadas en el SMF tienen principio y fin, es decir están en un ciclo específico y combinado dentro del mismo sistema.

Productos	Partes del Producto	Estación					Tiempo Total
		Almacén	Maquinados		Inspección y Ensamble		
			Torneado	Fresado	Inspección	Ensamble	
Cronometro	Contenedor	5 s		108 s	8 s	32 s	153 s
	Reloj						
Porta-Plumas	Base	5 s	66 s		8 s	21 s	113 s
	Pluma	5 s				8 s	

**Tabla 2. Desarrollo de manufactura de los dos productos en el SMF y tiempos de manufactura.**



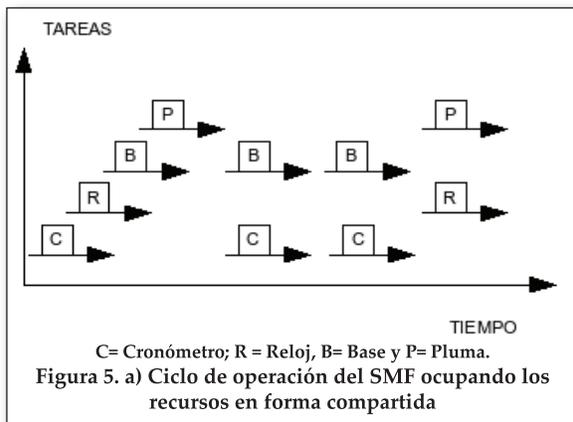
Complementando la definición anterior, se tiene que por ser un ciclo en especial también debe cumplir con un tiempo específico, y dentro de la manufactura esto es vital para lograr cumplir con los tiempos estándar de producción.

Finalmente, todas las proposiciones conducen a decir que el SMFTR está en sincronía en sus operaciones gracias a la respuesta de las E/S en forma aleatoria y temporales que se tienen cuando el sistema está en operación. Con esta fundamentación se dice que el comportamiento del sistema es el siguiente:

- A. Interacción con el mundo real. Se está aplicando en un sistema de producción real y además en una operación cotidiana de la industria.
- B. Respuestas correctas. La operación debe cumplir con las especificaciones técnicas y el sistema registra información verídica de lo sucedido en la operación.
- X. Respuesta acotada en tiempo. Ya que cumple con un tiempo acotado; y esto se ejemplifica en la ecuación

$$T_{T_o} = T_i + T_e + T_{Rf1} + \dots + T_{Rf6} \leq t_p$$

Donde:



- $T_{T_o}$  = 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.
- $t_p$  = Tiempo del ciclo del proceso

Sin embargo, para las condiciones del SMF con operaciones atómicas sincronizadas entre procesos, el tiempo total para la entrega de los productos de forma unitaria será el tiempo mayor de los procesos en forma independiente de los productos considerados, es decir:

$$T_{T_p} := \max \{T_{T_c}^i\}$$

y que contendrá a todos los demás procesos, de manera que globalmente el tiempo de todos los procesos se redujo tan solo al tiempo del proceso más largo; esto es siempre y cuando se logre la sincronía entre todas sus operaciones atómicas respecto a cada proceso.

Cuando el tiempo máximo es mucho muy grande respecto del tiempo necesario para realizar otro producto, es más conveniente que se realicen de manera independiente; por tanto es importante que dicha diferencia no sea mayor a un 30%. Con lo anterior contamos con la siguiente puntualización:

La Manufactura Flexible con restricciones de tiempo cuenta con sincronía entre todos los subprocessos constituida por la programación y la operación para obtener un tiempo de producción acotado y excelentes especificaciones de calidad.

## 2. CONCLUSIONES

- a. El Tiempo Real es determinante en las operaciones del Sistema de Manufactura Flexible.
- b. Se cumplen con las condiciones del tiempo del proceso que son:
  - Interacción con el mundo real.
  - Respuestas correctas.
  - Respuesta acotada en tiempo.
  - Se maximiza el rendimiento de un SMF.
- c. Se demuestra que por muy simples que sean las operaciones en el SMF, se requieren considerar las restricciones de tiempo.

d. Es inútil forzar de forma cualitativa las operaciones que se desarrollan en un SMF; es decir, un SMF debe contar con sistemas de registro de información que contribuyan a la adaptación y corrección de fallas en el sistema.

### 3. REFERENCIAS

- [1] Gerard K. Boon, Alfonso Mercado. Automatización flexible en la industria; Difusión y producción de máquinas herramientas de control numérico en América Latina. LIMUSA NORIEGA. México 1990.
- [2] The International Federation of Robotics. World Robotics 2001, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. United Nations.
- [3] Pedro Guevara. José de Jesús Medel. Introducción a los Sistemas en Tiempo Real. Instituto Politécnico Nacional. México, 2003.
- [4] Eduardo Oliva López. Sistemas Celulares de Producción. Instituto Politécnico Nacional. México. 2001.
- [5] Gerard K. Boon, Alfonso Mercado. Automatización Flexible en la Industria; Difusión y producción de máquinas herramientas de control numérico en América Latina. LIMUSA NORIEGA. México 1990.
- [6] Lee R. Nyman. Making Manufacturing Cells Work. Mc Graw Hill. USA 1992.
- [7] Félix Sanz Adán, Julio Blanco Fernández. CAD/CAM, Gráficos, animaciones y simulación por computadora. THOMSON, España 2002.
- [8] C Ray Asfahl. Robots and Manufacturing Automation. John Wiley and Sons, USA 1995.
- [9] Geoffrey Boothroyd. Assembly Automation and Product Design. DEKKER, USA 1992.
- [10] Tien-Chien Chang, Richard A. Wysk, "Computer-Aided Manufacturing", Segunda edición, Prentice Hall International. 1998.
- [11] Holland, S.W., Rossol, L., and Ward, M.R., CON-SIGHT-I: A Vision-Controlled Robot System for Transferring Parts Form Belt Conveyors, in Computer Vision and Sensor-Based Robots, (G.G. Dodd and L. Rossol, eds.), Plenum Press, NY, pp. ~81-97, 1979.
- [12] Paul G. Ranky. The design and operation of FMS : flexible manufacturing systems, January 1984.
- [13] MengChu Zhou. Modeling, Simulation, and control of flexible manufacturing systems, World Scientific, New Jersey Institute of Technology, USA 1999.
- [14] Nigel R. Greenwood. Implementing flexible manufacturing systems, USA 1988.