

Herramientas de ingeniería industrial en manufactura flexible

Katia Dávalos

MSC Industrial Engineering - University of Missouri, Columbia / Licenciado en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima / Profesora de administración de operaciones

"En el pasado, la compañía que sabía cómo estandarizar del modo más eficaz, estaba capacitada para superar a sus competidores. En el futuro, la compañía que sepa cómo desestandarizar del modo más eficaz, saldrá triunfante con toda probabilidad".

Alvin Toffler en *La empresa flexible*

Según G. Salvendy (1991), al ingeniero industrial tradicionalmente se le han asignado funciones en las áreas de manufactura que hoy alcanzan hasta la automatización de actividades de planta y oficina.

Todas estas funciones de la ingeniería industrial contienen el concepto de productividad, el cual es definido como la relación de unidades producidas (*output*) / recursos empleados (*input*).

El trabajo del ingeniero industrial está relacionado con el desarrollo de metodologías para reducir el costo del elemento *input* así como con métodos de explotación para incrementar el volumen y la calidad del *output*. La búsqueda del incremento de productividad para ahorrar tiempos de maquinado, para aumentar la escala de producción (aunque compuesta de distintos lotes pequeños o medianos), para reducir el

inventario de materiales en curso de elaboración y mejorar el uso de espacio en el piso de la planta, para lograr productos con precios y calidad competitivos, en especial para el mercado externo, son algunas de las razones económicas por las que se han desarrollado y vienen desarrollándose sistemas de manufactura flexible utilizando herramientas y principios de ingeniería industrial.

Además, la naturaleza flexible de estas técnicas programables aumenta la variedad de productos en calidad y especificaciones. La flexibilidad del producto también incrementa el potencial de utilización y reduce los costos de inversión, así como el uso del área o edificio, el uso del capital circulante y de inventarios por unidad de producto, a la vez que se obtiene ahorro de trabajo y habilidades del personal. Por otro lado, están las razones técnicas para poder fabricar nuevos productos más complejos, simplificar el proceso de maquinado y reducir el abastecimiento de componentes.

La automatización en la empresa es una solución eficiente para alcanzar el objetivo de mayor *output* y una mejor calidad en fabricación. De acuerdo a recientes investigaciones de la Sociedad Nacional de Industrias (SNI), en nuestro país se registran índices bajos en lo que respecta a la gestión tecnológica de las empresas, esto en contraste con otras áreas más favorables de nuestra economía. En estos tiempos de alta competitividad, la mejora de la gestión tecnológica resulta determinante en el planeamiento estratégico de la empresa, para enfrentar los continuos y rápidos cambios de la economía. Esta realización ha llevado al uso de técnicas de automatización en la industria manufacturera. Diseño asistido por computadora CAD (Computer Aided Design), manufactura ayudada por computadora CAM (Computer Aided Manufacturing) y manufactura integrada por computadoras CIM (Computer Integrated Manufacturing) son herramientas usadas hoy en día para la reducción de costos y obtención del *output* necesario.

Además, los sistemas automatizados por computadoras usando robótica, máquinas-herramientas CNC (Computer Numerical Control) y sistemas de acarreo de materiales automatizados, están ahora siendo integrados para formar los sistemas de manufactura flexible FMS (Flexible Manufacturing System) que pueden automáticamente manufacturar productos a través de una programación basada en computadora. La tecnología FMS representa un gran paso hacia el desarrollo sobre

líneas de transferencia y ofrece un medio por el cual la manufactura puede adaptarse a la creciente demanda de consumo para una entrega rápida de productos.

Un FMS puede decirse que es una unidad de producción capacitada para producir un rango discreto de productos con un mínimo de intervención manual. Un FMS puede ser definido directamente como un grupo (*set*) de máquinas controladas numéricamente por computadora, y estaciones de trabajo de apoyo semiindependiente conectados por un sistema automático de acarreo de materiales diseñados para manufacturar eficientemente más de una clase de partes a volúmenes bajos o medios. El control del sistema es realizado por una computadora central.

Estos sistemas de manufactura son ampliamente versátiles y pueden operar una variedad de aspectos con mínima intervención humana. La principal función del FMS es la automatización del flujo de material y el procesamiento de información. Un FMS generalmente consta de muchas estaciones de trabajo con acarreo automatizado de materiales que las une mientras que la completa preparación y arranque por sí misma es coordinada por un controlador lógico programable. Los sistemas flexibles descansan principalmente en los microprocesadores para almacenar, manipular y transmitir información para actividades de producción. Con la ayuda de computadoras en los sistemas de manufactura CAM, las empresas pueden combinar los beneficios de las distribuciones intermitentes por proceso con las ventajas de velocidad de distribuciones continuas de líneas de producción. Se comprende que para que este tipo de FMS pueda ser verdaderamente flexible, todos los subsistemas deben serlo también.

La flexibilidad es la habilidad para adaptarse a un amplio rango de situaciones posibles. El mundo dinámico, probabilístico e individualista en el cual competimos hace de la flexibilidad un requerimiento para la «supervivencia» a largo plazo. Según Monks (1991), el grado de utilización de las máquinas en los sistemas de manufactura flexible puede incrementarse de 25% a 80% y los tiempos de procesamiento disminuirse en más de 50% y, aunque estos sistemas requieren mayor inversión de capital, los costos se ven reducidos notablemente.

1. Elementos claves de un FMS

Las especificaciones del producto, en lo concerniente al grado de complejidad o especialidad, son un factor determinante en la selección de maquinaria y de las técnicas a emplearse.

A medida que los productos son más complejos, la maquinaria necesitará ser más universal y flexible. En otro sentido, cuanto más comunes o sencillas son las especificaciones de los productos, menos adaptable podrá ser la maquinaria. Lo anterior se asocia al hecho de que los productos complejos o especiales menos estandarizados se producen en pequeñas cantidades, dada la limitación de su demanda. De aquí que para manufacturar este tipo de bienes prevalecen lotes de producción pequeños. En contraste, los productos con una especificación común se manufacturan en grandes volúmenes.

De acuerdo a la definición dada en párrafos anteriores, los elementos claves de un FMS son :

- Máquinas reprogramables en su conjunto desde un computador central.
- Cambio y entrega automática de herramientas.
- Acarreo automático de materiales para transferencia de partes entre máquinas.
- Control coordinado.

Muchas partes o piezas de diferentes tipos pueden ser cargadas simultáneamente en el sistema porque las máquinas tienen la información de herramientas y procesamiento para trabajar cualquier parte. Asimismo, las partes pueden llegar a máquinas individuales en cualquier secuencia. Leyendo el código de la parte o siguiendo instrucciones de supervisión, ésta puede ser identificada o verificada y la secuencia de procesamiento apropiada puede ser recobrada por la memoria de la computadora de la máquina. El sistema puede incluir hasta 20 máquinas, pero también se emplea para sistemas pequeños de pocas máquinas a las que normalmente se las conoce con el nombre de celda o célula flexible (*flexible cell*).

Los tipos básicos de flexibilidad en manufactura son los concernientes a la maquinaria, es decir, al rango de capacidades de producción de una máquina y la gama de operaciones que puede realizar con el menor tiempo de preparación, realizado por instalaciones fijas genéricas y cambio automático de herramientas; los concernientes al acarreo de material o a la habi-

lidad para mover varias partes entre máquinas y áreas de almacén, mantener la dirección apropiada; y lo concerniente a la operación a realizarse, basado en el diseño de la parte, que se refiere a la habilidad para usar conjuntos de diferentes operaciones y máquinas para producir partes características.

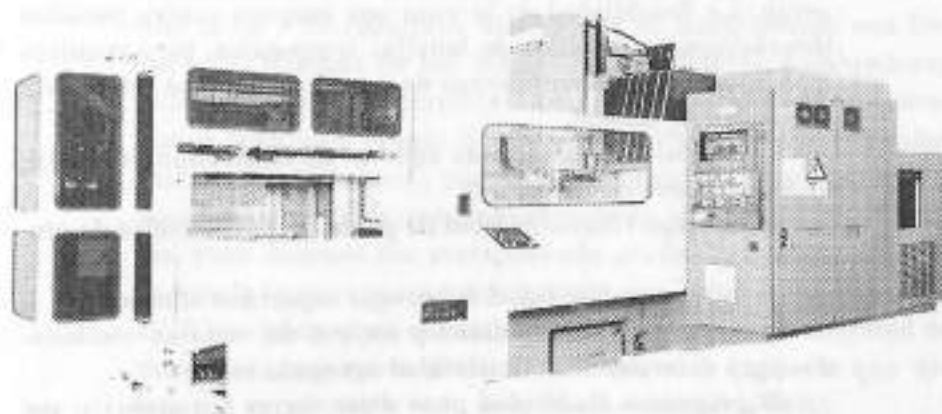


Figura 1

En la figura 1 se muestra el caso de producción de losetas de cerámica vidriada haciendo uso de sistemas FMS.

Línea compuesta por una serie de máquinas de vanguardia, que se integran en una función de acción extremadamente flexible, en respuesta "justo a tiempo" a las exigencias del proceso productivo de una notable variedad de losetas de cerámica vidriada.

En este FMS las losetas de cerámica vidriada procedentes del horneado y precedentemente clasificadas, son automáticamente identificadas y dirigidas hacia los apiladores habilitados según el requerimiento de la programación para recibir las diversas losetas. El transporte es efectuado mediante dos cintas laterales efectuándose la desviación hacia abajo mediante una pareja de almohadillas verticales accionadas neumáticamente, evitando el daño de la cerámica y de su esmalte. El plano de apoyo tiene características que permiten la formación de pilas homogéneas, y la utilización de embalajes diferentes, con opciones también de encolado en frío y en caliente. El cambio de modelo a empacar y su embalaje se produce en un tiempo récord de 3 minutos.

Los campos de flexibilidad de un sistema miden:

El proceso, con el cual establece la variedad de partes que pueden ser producidos con la misma preparación de máquinas (*setup*).

La ruta, habilidad para usar diferentes máquinas y efectuar distintas operaciones para producir partes bajo el mismo *setup*. La flexibilidad de la ruta nos asegura contra paradas (*breakdowns*) y «cuellos de botella» temporales, pero requiere más máquinas y herramientas de un solo tipo y una sofisticada capacidad de control.

El producto (facilidad de cambio en el sistema para producir un nuevo *set* de partes).

El volumen (insensibilidad de ganancia para niveles de producción).

La expansión (facilidad de agregar capacidad adicional).

Finalmente, la flexibilidad y control del sistema combinados para determinar la flexibilidad agregada mide:

El programa (habilidad para dejar correr sin atención por definidos periodos de tiempo).

La producción (rango de tipo de partes que podrían ser producidas sin mayor gasto de capital).

El mercado (combinación de producto, proceso, volumen, y expansión).

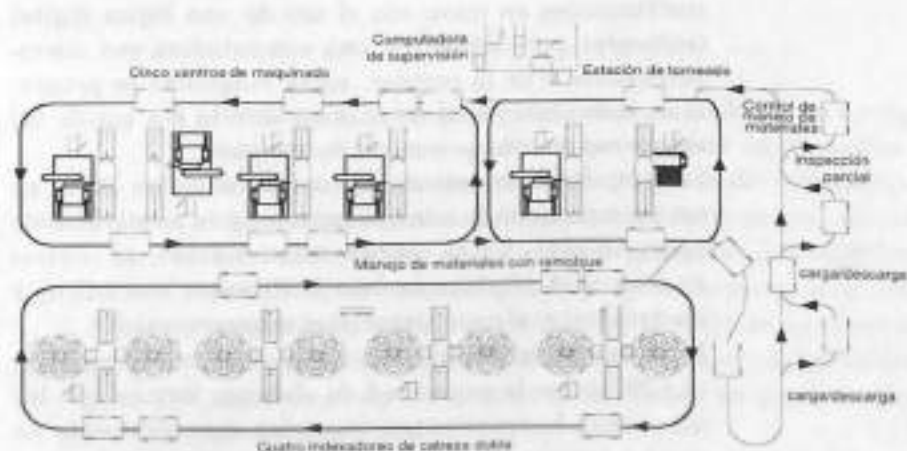
La tecnología de microprocesador está siendo el factor primario detrás del desarrollo del equipo e información de tecnologías que hace posible la flexibilidad.

Sin embargo, la flexibilidad no cambia la variabilidad del sistema; ello no es, por sí solo, lo que hace posible al sistema poder operar efectivamente en presencia de amplios y variados requerimientos. El punto importante es que un sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la vida útil para un horizonte suficiente de tiempo y mezcla de partes con pequeños cambios de tiempos que puedan ofrecer una alternativa económica para producción simultánea de múltiples y medianos volúmenes de partes. Los tipos de partes asignados a un FMS deberían tener suficientes volúmenes de producción para hacer la automatización atractiva pero insuficiente para justificar líneas de producción de dedicación exclusiva.

Los inicios del FMS se apoyan en las cadenas de eslabones (*link-lines*) que empezaron a aparecer en los años sesenta. Los *link-lines* consistían en máquinas de control numérico NC (Numerical Control) unidas por fajas transportadoras. Estos

sistemas fueron diseñados para procesamientos de lotes (*batch-es*), y no para líneas de producción en masa. A fines de la década de 1950, se inventó la máquina-herramienta NC. Ésta llevaba a cabo las instrucciones de programas en clave contenidas en cintas o tarjetas perforadas; los mecanismos de transferencia de instrucciones eran puramente mecánicos. La máquina tenía un alto costo y no resultaba útil ya que se descomponía con frecuencia. Muchas de las máquinas no tuvieron cambiadores automáticos de herramientas, sin embargo, sí permitían operaciones múltiples. A esta línea de transferencia se la denomina "automatización dura", puesto que un cambio de productos casi siempre requiere de cambios extensos en la línea de transferencia. Poco después fue perfeccionada gradualmente con la aplicación de la electrónica y sus transistores, y fue en la década de 1970 que alcanzó su máxima eficiencia con la disponibilidad de microprocesadores a precios cada vez más bajos, lo que dio lugar al surgimiento de la máquina-herramienta CNC.

Un sistema completo FMS típico de "automatización suave" es mostrado en la figura 2:



Fuente: R.G. Schroeder (1992)

Figura 2

Consta de una computadora para dirigir las partes y controlar las operaciones de las varias máquinas y estaciones de carga y descarga. Tanto las tecnologías de control numérico directo DNC (Direct Numerical Control) y de control numérico de computador desarrolladas para máquinas-herramientas, robots y sistemas automatizados de vehículos guiados AGVS (Automated Guided Vehicle Systems) aparecen para acarreo de partes. La carga y descarga de las partes en una máquina y la rotación de herramientas son automáticas, tomando sólo segundos y ofreciendo la ventaja de poder procesar lotes económicos de una gama de piezas de distintos tamaños y formas, y su conjunto de operaciones o tamaño.

Las principales técnicas basadas en la computadora que en forma combinada constituyen un sistema para la "manufactura flexible" o la "automatización adaptable" son: la máquinas-herramienta de control numérico computarizado CNC; los robots; el diseño asistido por computadora CAD; la fabricación asistida por computadora CAM.

1. La máquina-herramienta de control numérico computarizado CNC es una máquina-herramienta que desempeña tareas de maquinado sobre la base de una cinta de instrucciones en clave con el uso de una lógica digital (*software*) que alimenta a una computadora con microprocesador. Por lo regular, estas máquinas se programan individualmente de manera directa o a través del enlace con un equipo central de cómputo.
2. La máquina-herramienta de control numérico DNC no está computarizada como la anterior y es relativamente convencional. En lo concerniente a éstas, el control numérico se efectúa mediante sistemas mecánicos y electrónicos que no incorporan el microprocesador. En lo que se refiere al producto, la máquina-herramienta CNC tiene la capacidad de elaborar formas que las máquinas herramientas operadas manualmente no pueden lograr. Adicionalmente, la máquina puede repetir estas tareas en el momento que se solicite, siempre y cuando se almacenen las instrucciones precisas de producción y las necesidades de insumos en una forma repetible y recuperable. También se pueden obtener maquinados de alta precisión, de manera uniforme en el tiempo y repetible.

En la figura 3 se puede observar la diferencia entre CNC, procesamiento DNC y procesamiento por un operario.

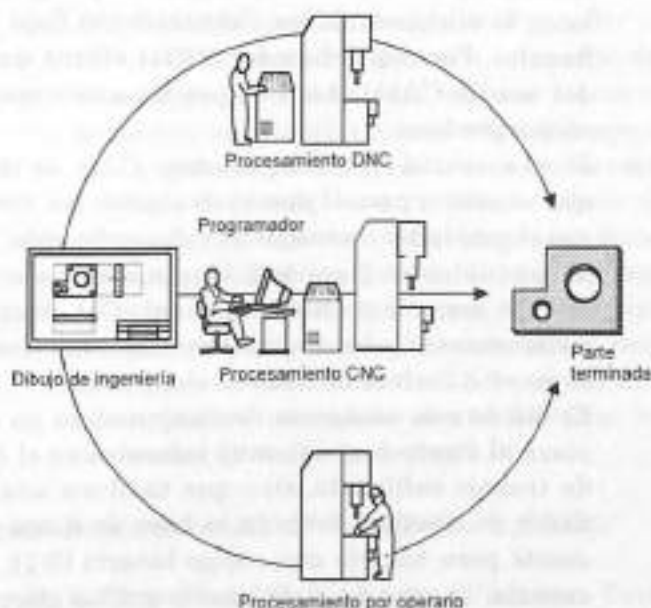


Figura 3

3. Fabricación asistida por computadora CAM, en su forma más completa, es una técnica que consiste en un conjunto de sistemas de cómputo enlazados entre sí que coordinan las actividades productivas manufactureras en su totalidad. Así, no sólo incluye maquinados individuales por CNC, sino también el flujo de materias primas, un número determinado de robots, el flujo de productos procesados, así como el transporte interno que parte del almacén y regresa al mismo, circulando de una estación productiva a otra.

También se incluyen las actividades de control de calidad y ensamble. En el momento en que se solicite, el sistema puede dar información acerca de los requerimientos de insumos, la cantidad de productos y la velocidad de la producción. En resumen, el sistema permanentemente no sólo está integrado con asignaciones de trabajo, sino también está coordinado y su información se

puede apreciar en pantallas ofreciendo los resultados tabulados de los flujos de insumo y producto del proceso de transformación.

CAM proporciona a las compañías que producen por lotes, la eficiencia de las industrias con flujo y procesos lineales. Por eso, Schroeder (1991) afirma que a través del uso de CAM, ahora es posible uniformar la fabricación por lotes.

4. *Diseño asistido por computadora CAD*, es una técnica que se utiliza para el diseño de objetos por computadora con capacidades interactivas y de graficación, por medio de las cuales las fases de diseño pueden hacerse visibles de una manera multidimensional. Con frecuencia, las consecuencias y los requerimientos numéricos y físicos se pueden derivar de manera simultánea.

El diseño con asistencia de computadora no sólo reemplaza al diseño manual, muy intensivo en el desempeño de trabajo calificado, sino que también añade capacidades de diseño y formula la base de datos correspondiente para hacerlo con código binario (0-1). En consecuencia, la capacidad de diseño gráfico electrónico que proporciona el sistema CAD es una parte, incluso un prerrequisito, de un sistema de producción automático flexible. CAD aporta flexibilidad al diseño. CAD ha simplificado grandemente los cambios en ingeniería y ha permitido que los diseñadores actualicen sus productos con rapidez. A manera de ejemplo, R. Schroeder (1991) presenta el caso de la General Motors reduciendo el tiempo de rediseño de un modelo de automóvil de 24 a 14 meses.

5. *Los robots*. Existen varias definiciones de este término. Según la American Robot Association, el robot es un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materia, partes, herramientas o aparatos especializados a través de los movimientos variables programados para el desempeño de diversas tareas. En algunos casos, ellos pueden aumentar la calidad, y su principal función es el desempeño de tareas peligrosas, insalubres o en extremo tediosas.

El robot puede compensar el monto de su adquisición en los países donde el costo del trabajo es relativamente bajo si controla el proceso productivo en términos de

velocidad y calidad. También ahorran en la cantidad de soldadura que usan, debido a la uniformidad del trabajo. Los robots programables pueden ser reprogramados con sólo cambiar el software, o sus instrucciones. Los robots "inteligentes" pueden inclusive responder (casi instantáneamente) a necesidades en línea. Pueden (con una cámara de lente sensitivo) localizar piezas en un transportador, alcanzarlas y armarlas, o inspeccionar, acomodar y reubicar dichas piezas si es necesario. Algunos robots pueden incluso reconocer voces de mando y responder a preguntas por medio de un sintetizador. No obstante, el objetivo principal de la incorporación del robot en la actividad industrial es reemplazar trabajo y complementar el sistema manufacturero flexible controlado microelectrónicamente. Dicho sistema, si se perfecciona totalmente, puede operar 24 horas sin fatiga ni demandas de aumento de pago.

2. Evaluación de los sistemas de manufactura flexible

Lo fundamental del sistema manufacturero flexible es combinar la adaptabilidad, en términos de la variedad del producto, con la automatización. Además, permite un patrón de producto más personal, individual, a un costo unitario aproximado al de un producto uniforme producido en masa. La automatización flexible, en consecuencia, satisface las preferencias de los demandantes sofisticados y hace posible la maximización de utilidades y el mejor logro de objetos individuales. La automatización convencional se basa en una producción masiva y uniforme, para lo cual se desarrollaron los llamados equipos de producción automática fija a partir del principio de la repetición sin fin de las mismas tareas productivas (o muy similares). La nueva automatización se aplica a lotes de producción pequeños y medianos, es decir, a un tipo de producción que era en esencia intensivo en trabajo y habilidades. El sistema manufacturero flexible se refiere a los procesos productivos heterogéneos. Sin embargo, recientemente ha penetrado en los procesos de producción masiva, convencionalmente automatizados de manera mecánica e inflexible, introduciendo una mayor variedad de productos, pero manteniendo el bajo costo por unidad de producto, esencial para las economías de escala derivadas de la producción masiva.

En los FMS, las máquinas pueden mantenerse trabajando tres turnos con bajos requerimientos de personal, una consideración importante cuando la oferta de maquinistas calificados se reduce y la resistencia para un tercer turno de trabajo crece, lo que sucede particularmente en los países desarrollados. Pocas máquinas son requeridas, pero son máquinas más caras. Talavage y Hannam (1988) presentan una serie de ejemplos específicos de ahorros en maquinaria incluyendo un sistema donde un FMS de 10 máquinas reemplazó a 25 máquinas CNC al 70% del costo.

De acuerdo a R. Askin y C. Standridge (1993), los requerimientos de espacio son reducidos en un 30%. La habilidad para cambiar planes instantáneamente se ajusta a la tendencia hacia una manufactura justo-a-tiempo JIT (*Just in Time*). Secuencias detalladas de producción no son necesarias con mucha anticipación. El uso de *batches* de tamaño económico reduce trabajo en proceso y tiempo de salida de producción. El costo de mano de obra directa también se reduce con un FMS. Un trabajador individual puede operar varias máquinas a la vez, siendo responsable principalmente por el mantenimiento. La única estación de trabajo a tiempo completo es la de carga y descarga.

Muchos beneficios son intangibles. Las reducciones del costo variable y del tiempo de salida de un producto realzan grandemente la competitividad en manufactura. A pesar de que es difícil de cuantificar, estas ventajas pueden y muy seguido hacen la diferencia entre la subsistencia y la quiebra cuando los competidores bajan sus precios y mejoran la calidad. Respecto de la calidad, las máquinas CNC permiten una inspección y control en línea para mejoramiento de la calidad. El constante uso de las máquinas también tiende a estandarizar el funcionamiento eliminando ciclos de arranque en los casos de máquinas que funcionan diferente cuando están calientes o frías, lo cual afecta en forma adversa la calidad y reduce capacidad. Otra ventaja es que los FMS generalmente tienen un diseño modular, el cual permite implementación y expansión por fases como las finanzas y las fuerzas del mercado lo permitan. Sin embargo, las líneas de transferencia deben ser justificadas económicamente sobre la vida del producto y la capacidad o habilidad de que el FMS pueda ser fácilmente cambiado a un nuevo set de productos cuando los ciclos de vida de los productos actuales terminan.

Askin y Standridge (1993) analizaron una encuesta hecha en 1985 por Steckle y Suri en 22 FMS norteamericanas. Un 22% de los FMS producían menos de 10 tipos de partes, 36% producían más de 100 tipos de partes. El nivel de utilización estaba en el rango de 90 al 30%. Las más bajas utilizaciones fueron debidas, mucho más a cambios en las condiciones de la compañía que a la disponibilidad del sistema.

El objetivo más importante para la mayoría de los sistemas fueron en orden de mérito:

- Cumplir con el pedido a tiempo.
- Maximizar la utilización de la máquina.

Este último objetivo tal vez deriva de la manera en el cual los sistemas contables localizan los gastos generales, y la preocupación de los gerentes de finanzas en justificar los grandes gastos de capital.

Tanto desde la perspectiva de planta como desde el punto de vista estratégico pareciera que es más prudente concentrarse en minimizar tiempos de salida de producto, y consecuentemente niveles de trabajo en proceso; una vez que el sistema está en marcha y las piezas a producir han sido asignadas. Los usuarios indicaron un frecuente uso de flexibilidad de ruta en los sistemas para adaptarlos cuando las máquinas se descomponen.

Como se puede deducir, el aspecto de automatización no es la única consideración de interés, pues ésta y su relevancia económica es en esencia un asunto de mercado en cuanto a su tamaño, característica de la demanda, así como de costos productivos. La era de automatización flexible, la penetración y difusión de técnicas basadas en el uso de computadora tienen que tratarse en forma amplia, es decir, en función del nivel de desarrollo y no con un simple criterio económico.

Bibliografía

- Askin, Ronald G. y Charles R.
Standridge. Modeling and Analysis of Manufacturing Systems. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- Boon, Gerard K. y Alfonso Mercado
Automatización flexible en la industria. México: Editorial Limusa, 1990.
- Monks, Joseph G.
Administración de operaciones. México: McGraw Hill, 1991.
- Salvendy, Gavriel
Manual de ingeniería industrial. Vol. I. México: Editorial Limusa, 1991.
- Schroeder, Roger
Administración de operaciones. Toma de decisiones en la función de operaciones. Tercera edición. México: McGraw Hill, 1992.
- Sociedad Nacional de Industrias, Centro de Desarrollo Industrial
Curso "La selección de una tecnología y su impacto en el desarrollo de una empresa", setiembre 1995.
- Talavage, Joseph y Roger G. Hannam
Flexible Manufacturing Systems in Practice: Applications, Design and Simulation. New York: Marcel-Dekker, 1988.
- Toffler, Alvin
La empresa flexible. Barcelona: Plaza & Janes, 1985.