

Fundamentos de ingeniería industrial

Sistemas de manufactura

Mar Ortiz, Julio

Fundamentos de ingeniería industrial : Sistemas de manufactura / Julio Mar Ortiz, María Dolores Gracia Guzmán - Oscar Laureano Casanova. —Ciudad de México : Colofón ; Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2019.

164 págs. ; 17 x 23 cm.

1. Sistemas flexibles de manufactura 2. Ingeniería de la producción 3. Procesos de manufactura
LC: TS155.6 M37 DEWEY: 670.285 M37

Consejo de Publicaciones UAT

Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2948 • www.uat.edu.mx

Centro Universitario Victoria

Centro de Gestión del Conocimiento, Tercer Piso

Cd. Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87149

consejopublicacionesuat@outlook.com

D. R. © 2019 Universidad Autónoma de Tamaulipas

Matamoros SN, Zona Centro Ciudad Victoria, Tamaulipas C.P. 87000

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México



Fomento Editorial Una edición del Departamento de Fomento Editorial de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT

ISBN UAT: 978-607-8626-56-4

Colofón

Franz Hals núm. 130, Alfonso XIII

Delegación Álvaro Obregón C.P. 01460, Ciudad de México

www.paralex.com/colofonedicionesacademicas@gmail.com

ISBN: 978-607-8663-95-8

Publicación financiada con recurso PFCE 2018

Fotografía de portada: José Luis Tapia Sánchez

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del Consejo de Publicaciones UAT.

Impreso en México • *Printed in Mexico*

El tiraje consta de 300 ejemplares

Este libro fue dictaminado y aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT mediante un especialista en la materia. Asimismo fue recibido por el Comité Interno de Selección de Obras de Colofón Ediciones Académicas, para su valoración en la sesión del segundo semestre 2018, se sometió al sistema de dictaminación a “doble ciego” por especialistas en la materia, el resultado de ambos dictámenes fue positivo.

Fundamentos de ingeniería industrial

Sistemas de manufactura

Julio Mar Ortiz
María Dolores Gracia Guzmán
Oscar Laureano Casanova





Ing. José Andrés Suárez Fernández
PRESIDENTE

Dr. Julio Martínez Burnes
VICEPRESIDENTE

Dr. Héctor Manuel Cappello Y García
SECRETARIO TÉCNICO

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
VOCAL

Dra. Rosa Issel Acosta González
VOCAL

Lic. Víctor Hugo Guerra García
VOCAL

Consejo Editorial del Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dra. Lourdes Arizpe Slogher • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Amalio Blanco** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dra. Rosalba Casas Guerrero** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Francisco Díaz Bretones** • Universidad de Granada, España | **Dr. Rolando Díaz Lowing** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Manuel Fernández Ríos** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dr. Manuel Fernández Navarro** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dra. Juana Juárez Romero** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dr. Manuel Marín Sánchez** • Universidad de Sevilla, España | **Dr. Cervando Martínez** • University of Texas at San Antonio, E.U.A. | **Dr. Darío Páez** • Universidad del País Vasco, España | **Dra. María Cristina Puga Espinosa** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Luis Arturo Rivas Tovar** • Instituto Politécnico Nacional, México | **Dr. Aroldo Rodrigues** • University of California at Fresno, E.U.A. | **Dr. José Manuel Valenzuela Arce** • Colegio de la Frontera Norte, México | **Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle** • Universidad de Santiago de Compostela, España | **Dr. Alessandro Soares da Silva** • Universidad de São Paulo, Brasil | **Dr. Akexandre Dorna** • Universidad de CAEN, Francia | **Dr. Ismael Vidales Delgado** • Universidad Regiomontana, México | **Dr. José Francisco Zúñiga García** • Universidad de Granada, España | **Dr. Bernardo Jiménez** • Universidad de Guadalajara, México | **Dr. Juan Enrique Marcano Medina** • Universidad de Puerto Rico-Humacao | **Dra. Ursula Oswald** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Arq. Carlos Mario Yori** • Universidad Nacional de Colombia | **Arq. Walter Debenedetti** • Universidad de Patrimonio, Colonia, Uruguay | **Dr. Andrés Piqueras** • Universitat Jaume I, Valencia, España | **Dr. Yolanda Troyano Rodríguez** • Universidad de Sevilla, España | **Dra. María Lucero Guzmán Jiménez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dra. Patricia González Aldea** • Universidad Carlos III de Madrid, España | **Dr. Marcelo Urra** • Revista Latinoamericana de Psicología Social | **Dr. Rubén Ardila** • Universidad Nacional de Colombia | **Dr. Jorge Gissi** • Pontificia Universidad Católica de Chile | **Dr. Julio F. Villegas** • Universidad Diego Portales, Chile | **Ángel Bonifaz Ezeta** • Universidad Nacional Autónoma de México

Índice

Prólogo	11
Parte I: Manufactura de clase mundial	13
Capítulo 1. Introducción a los sistemas de manufactura	15
1.1 Introducción	17
1.2 Los sistemas de manufactura	18
Definición de sistemas de manufactura	19
Funciones de la gerencia de manufactura	20
Evaluación de los sistemas de manufactura	22
1.3 Principios de los sistemas de manufactura	22
1.4 Industria 4.0	23
1.5 Bibliografía	24
Capítulo 2. Manufactura de clase mundial	27
2.1 Introducción	29
2.2 La estrategia	29
2.3 Estructura conceptual para la mejora continua	31
Principios dominantes	32
Administración total de calidad	32
Requerimientos para el incremento de la productividad nacional	33
2.4 Oportunidades de mejora	34
Enfoque de los nuevos fundamentos de manufactura	34
Diseño de productos	34
La transformación física	35
Administración de la cadena de suministro	37
2.5 Bibliografía	37
Capítulo 3. Enfoque sistémico de los sistemas de manufactura	39
3.1 Introducción	41
Concepto de sistema	41
Propiedades de sistemas	42
Tipología de sistemas	42
3.2 Ingeniería de sistemas en el análisis de la manufactura	43
Sistemas, pensamiento sistémico y enfoques sistémicos	44
3.3 La ingeniería de sistemas y los procesos de negocios	45
3.4 Bibliografía	47
Parte II: Computadoras y manufactura de flexible	51
Capítulo 4. Introducción a la manufactura integrada por computadora	53

4.1	Introducción	55
4.2	Definición y alcances del CIM	56
4.3	Formulación del CIM	58
	El valor de la información	59
	Implementación de CIM	60
	Niveles jerárquicos en un CIM	61
4.4	CIM en perspectiva	62
	Beneficios tangibles	62
	Beneficios intangibles	62
	Beneficios estratégicos del CIM	63
	Obstáculos a CIM	64
4.5	Ámbitos funcionales del CIM	66
	CIM (<i>Computer Integred Manufacturing</i>)	66
	PPC (Planificación de proceso asistido por computadora)	66
	CAD (Diseño asistido por computadora)	68
	Métodos de implementación y uso	75
	CAPP (Planificación de procesos asistida por computadora)	76
	CAM (Manufactura asistida por computadora)	76
	CAQ (Garantía de calidad asistida por computadora)	77
4.6	Bibliografía	79
	Capítulo 5. Integración total de empresas de manufactura	81
5.1	Introducción	83
5.2	Tecnologías	83
5.3	Sistemas ERP	85
5.4	Integración	89
	CIM e integración total de la empresa	89
	Redes de comunicación	90
5.5	Sistemas de administración de bases de datos	91
	Vínculos de base de datos	92
	Grupos de trabajos en las empresas	96
5.6	Marco para la integración total de la empresa	97
	Conceptos de integración	98
	Control y toma de decisiones integrados	100
	Integración del flujo de información y datos	100
	Acción integrada	101
5.7	Bibliografía	101
	Capítulo 6. Sistemas flexibles de manufactura	103
6.1	Introducción	105

6.2 Comparación de manufactura flexible	107
6.3 Celdas flexibles de manufactura	111
Celda flexible	111
6.4 Bibliografía	114
Parte III: Automatización y robótica industrial	115
Capítulo 7. Control numérico computarizado	117
7.1 Introducción	119
Controladores secuenciales	119
Controladores programables	119
Perspectiva histórica	120
Ventajas del uso del control numérico	121
7.2 Justificación económica del control numérico	123
7.3 Elementos de sistemas CNC	124
El control	125
Interface del operador	125
Interface de la máquina	126
7.4 Fundamentos del control numérico directo	127
7.5 Configuraciones de máquinas NC	127
Sistemas y máquinas posicionales	128
Sistemas y máquinas de contorneado	129
Factores que influyen en la precisión de las máquinas NC	130
Control adaptativo	131
7.6 Bibliografía	132
Capítulo 8. Introducción a la automatización	133
8.1 Introducción	135
8.2 Tipos de automatización	135
Automatización fija	135
Automatización programable	135
Automatización flexible	136
8.3 Tipos de industrias manufactureras	138
Productores básicos	138
Convertidores	138
Fabricantes	139
8.4 Tipos de producción	139
Producción por partes	139
Producción por lotes	139
Producción en masa	140
Producción masiva	140

8.5 Tipos de distribución de planta	140
Distribución de planta de posición fija	140
Distribución de planta por procesos	140
Distribución de planta por flujo de producto	140
Tecnología de grupos	141
8.6 Razones para automatizar	141
Escasez de mano de obra	141
Alto costo de la mano de obra	141
Incremento de la productividad	142
Competencia	142
Seguridad	142
Reducción del tiempo de entrega de manufactura	143
Reducción de costos	143
8.7 Razones para no automatizar	143
Resistencia de los trabajadores	143
Costos de actualización de mano de obra	143
Inversión inicial	144
Administración de los procesos de mejora	144
8.8 Bibliografía	146
Capítulo 9. Introducción a la robótica industrial	147
9.1 Introducción	149
Algo de historia	149
9.2 Robot: definición y anatomía	151
Descripción de los sistemas robóticos	152
Sistema de potencia	153
El motor eléctrico como fuente de potencia	154
Sistemas hidráulicos	155
Sistemas neumáticos	156
Subsistemas de control	156
<i>Manipulator sensing</i>	157
<i>Resolver</i>	158
Programación	159
9.3 Implementación de sistemas robóticos	160
Equipo específico relacionado	162
Funciones	162
Comunicaciones	163
9.4 Bibliografía	163

Prólogo

La ingeniería industrial es una disciplina que comprende el dominio de una amplia gama de capacidades técnicas, matemáticas, económicas, analíticas y de gestión para el análisis, diseño, gestión y mejora continua de sistemas industriales y de servicios. El ingeniero industrial es un profesional que requiere una sólida formación en las diversas áreas que son transversales e intervienen en la fabricación de un producto y en la prestación de un servicio.

Lo anterior debe ser contemplado en los planes de estudio de las universidades que otorgan dichos niveles académicos. Por lo que desde una perspectiva general, el ingeniero industrial debe tener formación en:

- **Ingeniería Humana:** Diseñar métodos de trabajo adecuados para lograr los niveles de productividad deseados en armonía con el cuidado del trabajador y el medio ambiente. Esto requiere cursos enfocados al estudio del trabajo, estudio de tiempos y movimientos, seguridad e higiene industrial, entre otros.
- **Cadena de Suministro:** Contar con una perspectiva general de la denominada empresa extendida. Incluye cursos enfocados en logística, modelado, gestión de cadena de suministros, relaciones con el cliente, etcétera.
- **Ingeniería Financiera:** Entender el impacto económico tanto en la rentabilidad de la empresa como en la economía en general de todas las decisiones que sean tomadas. Incluye cursos enfocados en evaluación de proyectos, ingeniería económica y sistemas de costeo, entre otros.
- **Sistemas Productivos:** Operar los sistemas de producción o de servicio de forma eficiente en cumplimiento con los objetivos de la organización. Incluye cursos enfocados en sistemas de manufactura, modelado de sistemas de manufactura, procesos de manufactura y control de la producción.
- **Estadística e Investigación de Operaciones:** Contar con herramientas analíticas para el proceso de toma de decisiones. Incluye cursos de programación lineal, simulación, modelos de colas, estadística y diseño de experimentos entre otros.
- **Sistemas de Calidad:** Uno de los aspectos importantes para lograr la competitividad dentro del mercado global al que pertenecen la mayoría de las organizaciones manufactureras y de servicios, por lo que el principal interés de los administradores y asesores se centra en establecer sistemas de calidad que garanticen satisfacer y exceder las expectativas de los clientes y grupos sociales. Diversos investigadores señalan que la calidad está basada en tres principios centrales; a) el enfoque en el cliente, b) participación y trabajo en equipo y c) la mejora y aprendizaje continuos. Así mismo, para apoyar e

implantar estos tres principios, es necesario contar con una infraestructura organizacional integrada, un conjunto de prácticas o mejores prácticas y una amplia diversidad de herramientas.

Esta obra se dirige a estudiantes que cursan la licenciatura en ingeniería industrial. Bajo el título de Fundamentos de ingeniería industrial, se pretende sentar las bases para otras publicaciones que atenderán algunos temas requeridos en la formación de ingenieros industriales.

De forma particular este libro se enfoca en los Sistemas de Manufactura. Se presentan, discuten y analizan conceptos, teorías y tendencias en el ámbito de los sistemas de manufactura. El libro aborda de una forma didáctica los temas de manufactura de clase mundial, sistemas flexibles de manufactura, automatización y robótica industrial. En gran parte, el texto constituye una recapitulación de diversos asuntos, donde los autores hemos puesto nuestro esfuerzo en sintetizar la información disponible, a fin de presentarla en una forma didáctica para lograr el aprendizaje del tema. El primer capítulo permite entender la interacción entre estos conceptos, y el resto de los contenidos aborda cada tema por separado a un nivel de profundidad suficientemente claro para un estudiante de ingeniería.

El libro puede ser utilizado para un curso de sistemas de manufactura. Para su integración se ha hecho un análisis del sector industrial, a fin de identificar las principales aplicaciones metodologías y tecnologías utilizadas por la industria para ser competitivas y productivas.

Los Autores

Esta obra es para todos los estudiantes de Ingeniería Industrial que poseen una mente inquieta que busca brindar soluciones a los problemas de calidad, productividad y competitividad, pero desean tener un marco de referencia.

Parte I

Manufactura de clase mundial

Parte I

Capítulo 1

Introducción a los sistemas de manufactura

1.1 Introducción

La presión competitiva para satisfacer las expectativas de los clientes está creciendo a un ritmo cada vez más rápido. La mejora pasiva de productos y servicios pronto será insuficiente para sobrevivir en el mercado global; por lo que existe una necesidad de cambio radical en la forma en que operan las empresas manufactureras. Este primer capítulo del libro introduce al lector al estudio de los sistemas de manufactura, desarrollando una visión global de dichos sistemas.

Antes de adentrarnos al estudio de los sistemas de manufactura, es importante como primer punto, contar con una visión global del impacto de dichos sistemas en el logro de una ventaja competitiva de las cadenas de suministro y de sus elementos conformantes. En primer lugar, una cadena de suministro está formada por el conjunto de varias empresas (eslabones) que intervienen en el proceso productivo (ver figura 1.1), proporcionándole en cada etapa valor intrínseco al producto. El conjunto de estas empresas incluyen a los proveedores, transportistas, manufactureros, almacenes, minoristas y el cliente final. En cada uno de estos eslabones los materiales fluyen continuamente, en forma de materia prima, componentes, productos en proceso y/o bienes terminados. Cada eslabón puede ser visto como un sistema con entradas, procesos de transformación y salidas, y es proveído por el eslabón antecedente y a su vez éste provee al eslabón consecuente, formando así a la cadena de suministro.

Figura 1.1 Cadena de suministro



Proveedor Fabricante Transportista Minorista Consumidor final

Fuente: Elaboración propia

Bajo esta perspectiva podemos identificar de manera general dos componentes indispensables de las cadenas de suministro. El primero de ellos es su sistema logístico (*logistics system*) de distribución y almacenamiento, el cual asegura el flujo constante de los materiales dentro de cada eslabón y a través de la cadena de suministro. El segundo de ellos es su sistema de manufactura (*manufacturing system*), el cual asegura la continua disposición de productos en cada eslabón para que estos sean movidos por el sistema logístico.

En la actualidad la administración de los sistemas de manufactura no puede basarse en pronósticos inciertos de demanda, por lo que debe existir una integración a lo largo de toda la cadena de suministro para transformarlas en cadenas de

valor. El objetivo principal de la administración de las cadenas de valor (*Value Chain Management*) es balancear las capacidades de las cadenas de suministro con las cadenas de demanda. El desempeño de las cadenas de suministro es medido con base en los siguientes criterios ganadores de pedido: a) calidad, b) oportunidad, c) disponibilidad y d) precio. Por su parte, el desempeño de la cadena de demanda es medido con base a: a) atracción de clientes, b) retención y lealtad de clientes. Parte importante en todo este sistema está relacionado nuevamente a la eficiencia de los sistemas logísticos y de manufactura, los cuales son auxiliados por las tecnologías de información (*information technology*).

En este punto, la pregunta es, ¿cómo se da la integración de la cadena de valor y cuál es su relación con los sistemas de manufactura? Debe considerarse que la integración en las cadenas de valor se da en dos tipos: a) integración interna en la organización, e b) integración externa. La integración externa se da mediante la Administración de la Cadena de Suministro (SCM, *Supply Chain Management*) y la integración interna mediante la administración de operaciones y los sistemas de manufactura.

Ahora la interrogante es, ¿qué elementos integran las cadenas de valor? La cadena de valor requiere de la integración de a) personas, b) información y c) tecnología y equipo. Lo anterior permite el desarrollo de sistemas altamente productivos y socialmente agradables. Las personas son integradas mediante el uso de sistemas socio-técnicos, la capacitación (quién ofrece el, ¿cómo?) y la educación (quién ofrece el, ¿por qué?). La información es integrada mediante el uso del e-business y el intercambio electrónico de datos (EDI, *Electronic Data Interchange*), lo cual permite información oportuna, actualizada y en tiempo real. Finalmente, la tecnología y equipo son integrados mediante el uso de Sistemas Integrados de Manufactura (SIM, *Systems Integrated Manufacturing*).

Una vez descrito el impacto global que tienen los sistemas de manufactura en el logro de una ventaja competitiva de las cadenas de suministro y de las empresas que la conforman, se identificarán los componentes de los sistemas de manufactura y su evolución.

1.2 Los sistemas de manufactura

Las cadenas de suministro y las organizaciones, en su búsqueda por menores costos de operación y la mejora de sus procesos administrativos y de manufactura, han decidido adoptar nuevas prácticas de operación bajo el enfoque de sistemas de manufactura. Los sistemas de manufactura son muy diversos, y cada uno difiere de otro en el tipo de problema organizacional que tiende a resolver; sin embargo, en conjunto persiguen una mejora continua de la organización.

Los sistemas de manufactura se integran por el conjunto de tres elementos: a) las prácticas de manufactura de clase mundial (WCM, *World Class Manufacturing*), tal

como los sistemas justo a tiempo (JIT, *Just in Time*), manufactura esbelta (LM, *Lean Manufacturing*), la ingeniería concurrente, entre otras; b) las tecnologías de información, como el data-warehouse, sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), entre otros; y c) las tecnologías avanzadas de manufactura (ATM, *Advanced Technology Manufacturing*), tales como los sistemas CAD/CAM, CIM, etcétera. El conjunto de estos elementos prometen una mejora radical en los niveles de calidad de la organización.

Debemos considerar que la calidad es uno de los aspectos más importantes para lograr la competitividad dentro del mercado global al que pertenecen la mayoría de las organizaciones manufactureras y de servicios, por lo que el principal interés de los administradores y asesores se centra en establecer sistemas de calidad que garanticen satisfacer y exceder las expectativas de los clientes y grupos sociales. Evans (2000), señala que la calidad está basada en tres principios centrales; a) el enfoque al cliente, b) participación y trabajo en equipo y c) la mejora y aprendizaje continuos. Así mismo, para apoyar e implantar estos tres principios, es necesario contar con una infraestructura organizacional integrada, un conjunto de prácticas o mejores prácticas (*best practices*) y una amplia diversidad de herramientas. Los sistemas de manufactura proveen el conjunto de estas mejores prácticas y la amplia diversidad de herramientas.

Definición de sistemas de manufactura

Un sistema es definido desde diferentes puntos de vista, sin embargo, tales definiciones presentan características muy similares, que nos permiten definir a un sistema como el conjunto de varios elementos en interacción dinámica que buscan un objetivo común. Por su parte, la manufactura es definida como el proceso de transformación de materiales en productos, partes o subensambles; es decir, la manufactura es la creación de bienes y servicios, a través de la transformación de insumos en salidas.

Bajo esta perspectiva, un sistema de manufactura es el conjunto de procedimientos, métodos de producción, instalaciones, equipo, herramientas, personas y tecnología en un mismo escenario para desempeñar secuencias de fabricación o manufactura resultantes en componentes o productos terminados. Esto es, que los sistemas de manufactura son sistemas que están estructurados a través de un conjunto de actividades y procesos relacionados, necesarios para obtener bienes y servicios de alto valor añadido para el cliente, con el empleo de los medios adecuados y la utilización de los métodos más eficientes; lo cual implica la fabricación de productos que satisfagan a los clientes en las fechas y términos estipulados con la calidad requerida y bajo principios de racionalización, es decir, de minimización de costos y maximización de utilidades.

Un sistema de manufactura es un conjunto de elementos (físicos, humanos, tecnológicos, financieros) que interactúan entre sí para la fabricación de productos que satisfagan a los clientes, en las fechas y términos estipulados con la calidad requerida y bajo principios de racionalización, minimización de costos y maximización de utilidades.

De la anterior definición podemos identificar cuatro elementos fundamentales de los sistemas de manufactura:

1. Instalaciones y equipo.
2. Métodos de producción.
3. Personas.
4. Tecnología.

La identificación de estos elementos permite efectuar una comparación entre los sistemas de manufactura en los países desarrollados y subdesarrollados, así como una comparación entre los sistemas locales de manufactura y los internacionales.

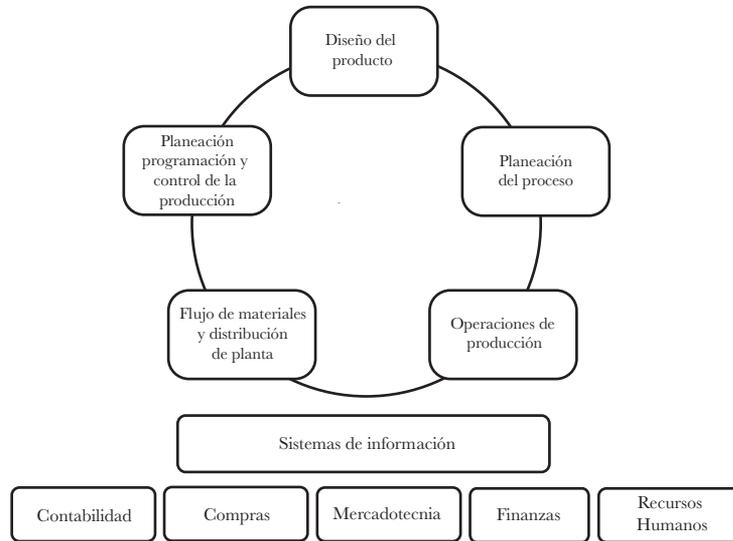
Funciones de la gerencia de manufactura

Es responsabilidad del gerente de manufactura establecer prioridades y objetivos, así como monitorear el rendimiento del sistema de manufactura. Por lo que su principal función consiste en determinar la mejor manera de utilizar los recursos disponibles de la empresa. De manera más específica algunas de sus funciones son:

- Prever la demanda de productos y factores de producción,
- Ajustar la programación del trabajo,
- Determinar los mecanismos de control,
- Implementar y dar seguimiento a nuevos y actuales sistemas de manufactura,
- Llevar a cabo el análisis y administración de las adquisiciones,
- Controlar inventarios,
- Analizar la distribución de la planta,
- Definir métodos de trabajo y determinar los medios de medición,
- Llevar a cabo el análisis y el control de costos.

Es indispensable tener claro que el sistema de manufactura es un subsistema de la empresa u organización, que para alcanzar su objetivo requiere de estudios, análisis y toma de decisiones acordes a racionalizar los recursos para lograr ser productivo. La figura 1.2 muestra los principales componentes del sistema de manufactura.

Figura 1.2. Componentes de un sistema de manufactura



Fuente: Elaboración propia

- **Sistema de información:** es el elemento que da soporte a los cinco subsistemas, provee un mecanismo de coordinación y mide la contribución de cada uno con los objetivos corporativos.
- **Diseño del producto:** tomando en cuenta los deseos de los clientes, se diseña el producto, bajo características de “manufacturabilidad” y rentabilidad, que satisfaga esas necesidades.
- **Planeación del proceso:** especifica la secuencia de operaciones requerida para transformar la materia prima en partes y posteriormente especifica el proceso de ensamblado para obtener el producto final.
- **Operaciones de producción:** Especifica cómo fluyen los materiales a través del sistema y cómo se ligan los procesos para obtener el volumen deseado de producción con el nivel de calidad requerido.
- **Flujo de materiales y distribución de planta:** Especifica el movimiento de los materiales dentro de una planta diseñando una configuración del piso de manufactura.
- **Planeación, programación y control de la producción:** Administra la demanda, niveles de producción, capacidad de producción, niveles de inventario.

Evolución de los sistemas de manufactura

El punto de partida de los procesos de manufactura moderno puede acreditarse a Eli Whitney con su máquina despepitadora de algodón, sus principios de fabricación intercambiables o su máquina fresadora, sucesos todos ocurridos alrededor de 1880. En esa época aparecieron otros procesos industriales a consecuencia de la guerra civil en los Estados Unidos que proporcionó un nuevo impulso al desarrollo de procesos de manufactura de aquel país. El origen de la experimentación y análisis en los procesos de manufactura se acreditaron en gran medida a Fred W. Taylor quien un siglo después de Whitney publicó los resultados de sus trabajos sobre el labrado de los metales aportando una base científica para hacerlo. El contemporáneo Miron L. Begeman y otros investigadores lograron nuevos avances en las técnicas de fabricación, estudios que han llegado a aprovecharse en la industria. El conocimiento de los principios y la aplicación de los servomecanismos levas, electricidad, electrónica y las computadoras hoy día permiten al hombre la producción de las máquinas. La evolución de los sistemas de manufactura han sufrido un cambio de fábricas tradicionales hacia una red, diferentes elementos estructurales e infraestructurales deben ser tomadas en consideración.

Una vez comprendido el concepto de sistemas de manufactura e identificado sus elementos, así como el impacto de dichos sistemas en el logro de una ventaja competitiva de las cadenas de suministro y de las organizaciones, procedemos a analizar con más detalles los sistemas de manufactura de clase mundial.

1.3 Principios de los sistemas de manufactura

En la literatura se han identificado nueve principios que rigen el diseño, análisis y funcionamiento de los sistemas de manufactura:

1. **Ley de Little** $WIP = \lambda \times T$. La ley de Little establece que el WIP (*work-in-process*) es directamente proporcional al tiempo de procesamiento (*throughput time*), siendo la constante proporcional la tasa de producción. Considerando condiciones de estado estable. Es decir:

$$WIP = \text{Tasa de producción} \times \text{Tiempo de proceso}$$

Considere una tasa de producción estable X . Un sistema con N espacios, cada uno ocupado por un trabajo. Cada $1/X$ unidades de tiempo, llega un nuevo trabajo al sistema, y cada trabajo en el sistema avanza un lugar. ¿Cuánto tiempo le toma a un trabajo atravesar el sistema? $T = N(1/X)$ o equivalentemente $N = XT$.

2. Ley de Conservación de la Materia. A largo plazo, un sistema estable no debe tener acumulación de inventarios.
3. Ley de Confiabilidad y Tamaño. La confiabilidad de un sistema es inver-

samente proporcional a su tamaño. Si tenemos \mathcal{N} componentes (estadísticamente independientes) de un sistema, cada uno con confiabilidad r_i , $i = 1, \dots, \mathcal{N}$, entonces la probabilidad de que el sistema entero sea confiable está dada por:

$$\prod_{i=1}^{\mathcal{N}} r_i$$

4. Ley del Deterioro. Los objetos se deterioran.
5. Ley del Crecimiento Exponencial y Complejidad. Si un sistema tiene M componentes y cada componente tiene \mathcal{N} estados, entonces el sistema tiene NM estados posibles. Cada uno de los cuales debe ser considerado cuando se diseña y opera el sistema.
6. Ley de los Avances Tecnológicos. Los avances tecnológicos permiten operar de forma más eficiente. Si combinamos con la cuarta ley (deterioro), un sistema puede evolucionar o extinguirse.
7. Ley de la Aleatoriedad. Los componentes de un sistema parecen comportarse de forma aleatoria.
8. Ley de la Racionalidad Humana. Los humanos tenemos capacidad cognitiva limitada: i) tendemos a tener un pensamiento lineal de una actividad a la vez; ii) nuestra memoria a corto plazo se limita a siete ítems; y iii) nuestra visión conceptual se limita a tres dimensiones. Estas limitantes nos llevan a buscar buenas soluciones en un mundo que demanda soluciones óptimas.
9. Ley de lo Simple. Combinar, simplificar y eliminar, ahora tiempo, dinero y energía. Las ventajas obtenidas al combinar y/o simplificar las tareas necesarias y eliminar las innecesarias no deben ser subestimadas.

1.4 Industria 4.0

La industria es la parte de una economía que produce bienes materiales que están altamente mecanizados y automatizados. Desde el comienzo de la industrialización, los avances tecnológicos han conducido a cambios de paradigma que hoy se denominan "revoluciones industriales" ex post: en el campo de la mecanización (la llamada 1ª revolución industrial), del uso intensivo de la energía eléctrica (segunda revolución industrial), y de la digitalización generalizada (tercera revolución industrial). Sobre la base de una digitalización avanzada dentro de las fábricas, la combinación de tecnologías de internet y tecnologías orientadas al futuro en el campo de objetos "inteligentes" (máquinas y productos) parece dar como resultado un nuevo cambio de paradigma fundamental en la producción industrial. La visión de producción futura contiene sistemas de fabricación modulares y eficientes y se

caracteriza por los escenarios en los que los productos controlan su propio proceso de fabricación. Esto supone realizar la fabricación de productos individuales en un tamaño de lote de uno al tiempo que se mantienen las condiciones económicas de producción en masa. Tentado por esta expectativa futura, el término "Industria 4.0" se estableció ex ante para una "4ta revolución industrial" planificada, el término es una reminiscencia del control de versiones del software. Los desencadenantes son cambios sociales, económicos y políticos. En lo particular:

- **Periodos de desarrollo cortos:** los periodos de desarrollo y los periodos de innovación deben acortarse. La alta capacidad de innovación se está convirtiendo en un factor de éxito esencial para muchas empresas (*time to market*).
- **Individualización a demanda:** un cambio de un vendedor a un mercado de compradores se ha hecho evidente durante décadas, lo que significa que los compradores pueden definir las condiciones del negocio. Esta tendencia conduce a una creciente individualización de los productos y, en casos extremos, a productos individuales. Esto también se llama "tamaño de lote uno".
- **Flexibilidad:** debido a los nuevos requisitos del marco, es necesaria una mayor flexibilidad en el desarrollo del producto, especialmente en la producción.
- **Descentralización:** para hacer frente a las condiciones especificadas, se necesitan procedimientos de toma de decisiones más rápidos. Para esto, las jerarquías organizacionales deben reducirse.
- **Eficiencia de los recursos:** el aumento de la escasez y el aumento consiguiente de los precios de los recursos, así como el cambio social en el contexto de los aspectos ecológicos requieren una atención más intensiva en la sostenibilidad en contextos industriales. El objetivo es una ineficiencia económica y ecológica.

1.5 Bibliografía

- Balle, M. (1995), *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London. Querying Shuguang, L. and Rongqiu, C. "Understanding and implementing CIM through BPR". *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.
- Mathaisel, B. F. (1993), "Managing IS across borders", *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.
- González Z. D., Escalante, L. A. and Escalante, L. H. (1997). "Manufactura de Clase Mundial", *La Academia*, Mayo-Junio de 1997. Disponible en: http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/ipn/academia/9/sec_11.htm, Visitado el 30 de Agosto de 2017.

- Krajewski, L.J. and L. P. Ritzman. (1996). *Operations Management: Strategy and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- Madu, C. N., Georgantzas, N. C. (1991). “Strategic Thrust of Manufacturing Automation Decisions: A Conceptual Framework”. *IIE Transactions*, Vol. 23 No. 2, Jun 1991, pp. 138 – 148.
- Fox, P. (2001) “Automation: crossing the final frontier”. *Assembly Automation*, Vol. 21 No. 2, 2001, pp. 111 – 114.

Parte I

Capítulo 2

Manufactura de clase mundial

2.1 Introducción

En lo que para algunos respecta, los negocios manufactureros se encuentran en una era parecida a la edad oscura. El aprendizaje organizacional está progresando a una tasa deplorable, mientras que el feudalismo inter-funcional parte a las organizaciones en departamentos separados. En la mayoría de las organizaciones, la jerarquía y la burocracia preservan el poder para unos pocos en la cima, impidiendo a la gran cantidad de los empleados hacer más de lo que se les ha dicho, o lo que está definido en la estrecha descripción de trabajo. La riqueza también es mantenida por unos cuantos en la cima donde los salarios, bonos, y una oferta de opciones son proveídos como incentivos.

El enfoque de manufactura de clase mundial (WCM) ha producido mejoras a través de todas las medidas de productividad y calidad en manufactura en una amplia variedad de empresas. Estas mejoras incluyen: un 10% en la reducción de las tasas de defectos a clientes, un 10% en la reducción del tiempo de ciclo en la manufactura, y una reducción del 20% en los costos de producción. Por lo que la potencialidad para hacer ganancias en ciertos casos puede ser duplicada.

2.2 La estrategia

Es importante crear conciencia de que la competitividad de las compañías manufactureras ha estado en serio decline por más de una década. La principal razón es la debilidad en la forma en que los administradores han guiado a sus compañías, particularmente en las áreas de la administración de la manufactura y tecnología. El reto actual para todos los manufactureros es recuperar y mantener una ventaja competitiva en el mercado global. Para lograr este reto, varias filosofías y enfoques para administrar la manufactura y tecnología son requeridos. La estrategia para que una compañía pueda convertirse en una empresa de clase mundial está relacionada con:

1. Reducir los tiempos de entrega (*Lead Times*)
2. Reducir los costos de operación
3. Reducir el tiempo de lanzamiento de los productos al mercado
4. Exceder las expectativas del cliente
5. Incrementar la sub-contratación de servicios de terceros
6. Administrar la empresa global
7. Mejorar la visibilidad de la compañía

Una empresa de manufactura logra el estatus de clase mundial cuando ésta ha desarrollado exitosamente sus capacidades de manufactura para soportar a la compañía en su totalidad, ayudándola a obtener una ventaja competitiva sustentable

sobre sus competidores en áreas tales como costo, calidad, entrega, flexibilidad e innovación. Los manufactureros de clase mundial extienden sus operaciones de manufactura a ser externamente sustentados, esto es, ayudando a la entera compañía a lograr una ventaja sobre sus competidores. Ellos buscan desempeñar sus competencias globales en áreas centrales; ellos no intentan simplemente copiar a sus competidores. Les disgusta ser dependientes de las organizaciones externas por experiencia; desean desarrollar su propia fuerza de trabajo, equipo y sistemas, pero también respetan las capacidades de otros. Por ello, constantemente analizan el mundo exterior, particularmente a sus competidores más cercanos, para asegurarse que están enterados en el uso de nuevas ideas y enfoques. La característica más reconocible de los manufactureros de clase mundial es su habilidad de adaptarse rápidamente a los clientes cambiantes y a los requerimientos de los mercados y diseñar, producir y entregar sus nuevos productos a los clientes y más rápido que sus competidores.

La correcta interpretación de la estrategia de manufactura implica el diseño de medidas de desempeño de manufactura, seguidas por su mapeo en apropiadas capacidades de manufactura de los elementos de los sistemas de manufactura. Esto constituye una tarea importante, donde se requiere del conocimiento de técnicas de decisión multi-criterio. Se requiere una metodología que se enfoque en los parámetros de diseño que afectan el desempeño operacional de los sistemas de manufactura, mientras que provee un seguimiento durante la etapa de diseño. Comenzando en el nivel estratégico, una jerarquía de requerimientos que ha sido identificada para dar forma a la estructura conceptual para definir un sistema de manufactura es el despliegue de directrices. Los requerimientos son desplegados mediante el uso de matrices de planeación del *Quality Function Deployment* (QFD). El despliegue de estos requerimientos hacia la jerarquía baja es gobernado por el grado de importancia de los requerimientos en el nivel más alto así como las fuerzas de las relaciones entre los requerimientos y los parámetros que los satisfagan.

El éxito o falla de la inversión en manufactura avanzada depende de los esfuerzos para asegurar retornos económicos en el corto plazo y los efectos del proyecto en la competitividad de la compañía en el largo plazo. Esto puede ser medido con tan solo unos pocos parámetros que forman los objetivos operacionales de los sistemas de manufactura tales como el *throughput time*, trabajo en proceso, costos de manufactura, calidad del producto, utilización de máquinas y mejora de la flexibilidad. El proceso de especificar y diseñar un sistema de manufactura comienza con una serie de requerimientos dados y termina cuando el sistema es descrito en suficiente detalle que éste puede ser implementado. La tarea de especificación y diseño consiste en tomar diseños a través del proceso de formalizar los requerimientos y transformarlos en constructos que pueden ser implementados. Estos requerimien-

tos son normalmente externos y expresados en términos no técnicos y necesitan ser traducidos en apropiados requerimientos técnicos o ingenieriles.

Para ser efectivo en el logro de los objetivos especificados, y válido para un amplio rango de aplicaciones, una metodología para el diseño de un sistema de manufactura debe tener ciertas características genéricas que harán la metodología robusta en varias situaciones y circunstancias. Dos aspectos importantes son, si el sistema desarrollado satisface los requerimientos que fueron inicialmente establecidos en los objetivos, y si el sistema genera un retorno suficiente para justificar la inversión.

La habilidad de una compañía manufacturera para competir es establecida por sus capacidades de manufactura, la cual debe ser planeada con respecto a los objetivos corporativos adoptados. La importancia de la manufactura dentro de la estrategia corporativa, y la naturaleza estructural de muchas de las decisiones de manufactura han contribuido al desarrollo de la estrategia de manufactura. La estrategia de manufactura ha sido vista desde muchas perspectivas en la literatura. Las diferentes definiciones han demostrado que una estrategia de manufactura tiene tres propiedades genéricas de: (a) soportar los objetivos corporativos, (b) proveer objetivos de manufactura de costo, calidad, dependencia, y flexibilidad, con ello ofreciendo una ventaja competitiva, y (c) enfocarse en un patrón consistente de toma de decisiones dentro de los principales recursos de la manufactura.

2.3 Estructura conceptual para la mejora continua

La manufactura de clase mundial (WCM, *World Class Manufacturing*) es definida como una filosofía de manufactura o ideología que es usada para lograr un estatus manufacturero de clase mundial. La esencia de la filosofía del WCM es la mejora continua que involucra a todos en la organización. Las organizaciones que adoptan esta filosofía constantemente buscan oportunidades para mejorar en sus principales áreas competitivas tales como la calidad, el costo, la entrega, flexibilidad e innovación. Tales mejoras son esenciales para la sobrevivencia y rentabilidad.

El énfasis en la mejora continua es la última prueba de una organización de clase mundial. Algunos autores explican que cualquier compañía ventajosa y que funcione correctamente puede desarrollar temporalmente una ventaja sobre sus competidores adoptando un particular proceso de diseño e innovación de productos o invirtiendo en una planta de producción que se encuentre en el “estado del arte”. Puede aparentar inicialmente que una compañía como tal ha logrado paridad (equivalencia) con ellos; otras compañías que ciertamente compiten mediante sus capacidades de manufactura, pero si su nuevo diseño o planta es el logro de una meta por ella misma y la organización se atreve a experimentar nuevas cosas, la ventaja pronto se pierde.

Principios dominantes

Las compañías que persiguen un estatus de clase mundial pueden tomar diferentes caminos y diferentes enfoques. Existen cuatro principios dominantes (enfoques o prácticas) de los cuales las compañías pueden elegir uno o más.

1. Justo a tiempo (JIT). Los principios del justo a tiempo se enfocan en la eliminación del desperdicio, con desperdicio definimos cualquier cosa que minimiza la cantidad de equipo, materiales, espacio y tiempo de mano de obra, absolutamente esenciales para añadir valor al producto.
2. Administración de la calidad total (TQM). Bajo el principio del TQM cada parte en la organización debe ser involucrada en la mejora de la calidad de los productos para satisfacer las necesidades de los clientes. El énfasis es situado en la prevención de los defectos en lugar de la detección de defectos y el desarrollo de una actitud de “hacer las cosas bien a la primera”.
3. Mantenimiento preventivo total (TPM). Con el principio del TPM, las máquinas y equipo reciben mantenimiento constantemente para asegurar que rara vez pudieran descomponerse o presentar bajo desempeño durante una corrida de producción.
4. Manufactura integrada por computadora (CIM). El CIM involucra la integración de todas las operaciones de la compañía desde el diseño, producción y distribución hasta después del servicio post-venta mediante el uso de computadoras y tecnologías de información.

Administración total de calidad

El término de administración total de calidad (TQM) ha sido discutido como un enfoque para lograr un estatus de clase mundial. De hecho, un volumen completo del Business Week fue devoto de la “calidad imperativa”. Los programas de TQM típicamente abarcan varios de los principios de WCM previamente listados.

La oficina general de contabilidad en los EE.UU. (GAO) toma en su reporte “prácticas administrativas”: compañías americanas que mejoran su desempeño a través de los esfuerzos de calidad. Las similitudes son tal vez mejor representadas por el criterio usado por el Malcolm Bardridge National Quality Award (MBNQA) que incluyen:

- Calidad manejada por el cliente (enfoque al cliente)
- Fuerte liderazgo de calidad (liderazgo)
- Mejora continua
- Acciones basadas en hechos, datos y análisis
- Participación de los empleados

La metodología del GAO es investigar compañías que compiten por el Malcom Baldrige Award que han calificado para la evaluación en sitio (el grupo de los finalistas de los cuales el ganador es seleccionado). El objetivo del estudio es determinar el impacto del TQM en el desempeño mediante la evaluación de 4 áreas:

1. Relación de los empleados
2. Procedimientos operacionales
3. Satisfacción de los clientes
4. Desempeño financiero

Los resultados de los estudios han demostrado que el TQM es un enfoque claramente efectivo para mejorar las capacidades competitivas de la organización sea, grande o pequeña, orientada al servicio o a la manufactura, nacional o internacional.

Requerimientos para el incremento de la productividad nacional

Investigadores y la comisión del MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) en productividad Industrial han identificado 3 tendencias a largo plazo que se espera tengan el mayor impacto en el desempeño productivo futuro:

1. La internacionalización de la actividad económica se espera continúe, acompañada con una intensificación de la competencia. Los países del 3er. Mundo esperan desarrollar o incrementar su capacidad industrial, por ello incrementaron su potencial para impactar en el mercado global.
2. El incremento en la sofisticación del mercado es anticipada, incluyendo tendencias a través de más segmentación y especialización, con un creciente énfasis en la calidad del producto. Los requerimientos del producto serán más personalizados, con lo cual se incrementará la necesidad de procesos de manufactura más flexibles.
3. Finalmente, las ventajas tecnológicas se espera continúen a su ritmo actual. Como la integración de los mercados continuará, los sistemas de información serán críticos para proveer una respuesta en tiempo real al mercado mediante sistemas flexibles de producción.

Como una respuesta prescrita a estas 3 anticipadas tendencias a largo plazo los investigadores han identificado 5 principios que deben ser adoptados por industria, trabajador, gobierno y comunidad estudiantil. Los 5 principios incluyen:

1. Enfoque en “nuevos fundamentos de manufactura”
2. Desarrollo de una “nueva ciudadanía económica”
3. Combinación de individualismo y cooperación

4. Enfoque en la economía global
5. Abastecerse para el futuro

2.4 Oportunidades de mejora

Las manufactureras de clase mundial constantemente buscan oportunidades de mejora. A continuación abordaremos algunas áreas de mejora en las organizaciones. Enfoques y conceptos que serán presentados tienen la particularidad de mejorar las capacidades de manufactura.

Enfoque en los nuevos fundamentos de manufactura

La comisión del MIT sugiere una nueva jerarquía de administración a ser desarrollada para considerar primero las necesidades de producción antes de las necesidades de finanzas y planeación. Nuevas medidas deben ser desarrolladas para reflejar adecuadamente el desempeño a largo plazo. La integración de nueva tecnología debe dar soporte a los objetivos estratégicos de la compañía. Los procesos de manufactura deben ser flexibles e innovadores con un movimiento estratégico hacia los sistemas de producción masiva.

Diseño de productos

Aunque muchas áreas en la manufactura pueden ser mejoradas ninguna es más importante que el diseño de productos porque su impacto significativo se refleja en la calidad del producto. Un mejor diseño de productos es un requerimiento inicial para la producción de alta calidad a un costo competitivo.

La calidad debe ser diseñada y construida dentro del producto; no debe ser inspeccionada en el producto. Un investigador establece que una inspección no añade nada a la calidad del producto y que las técnicas del muestreo estadístico solo hacen la inspección más racional. Mientras que las compañías diseñen y produzcan para el mercado masivo o un mercado especial, un buen diseño de productos debe satisfacer las necesidades de los clientes en las bases de tiempo y debe poderse fabricar con alta calidad. Las compañías deben también asegurarse que el diseño tenga un enfoque en el cliente y sea integrado con el resto de la organización. La siguiente lista muestra algunas maneras como las compañías pueden mejorar el diseño de esos productos.

1. Desarrollando una comunicación efectiva mediante un buen sistema de información para dar seguimiento a los requerimientos de los clientes. Distribuyendo esta información a todos los involucrados en el diseño del producto en tiempo real.
2. Proveer a los ingenieros de diseño con herramientas efectivas de diseño, tal como el diseño asistido por computadora (CAD) y la ingeniería asistida por computadora (CAE) que pueden reducir los tiempos de entrega y mejorar la

calidad y productividad del diseño. Aunque la instalación del CAD y el CAE alguna vez fue considerada sumamente costosa, los precios de los paquetes de software han disminuido rápidamente, y algunos paquetes están ahora disponibles por menos de 2 000 dólares.

3. Reducir la complejidad de las partes mediante el diseño regular y la simplificación de conceptos.

4. Desarrollo de fuertes relaciones horizontales a través de la compañía para que el diseño de productos sea integrado con otras funciones (por ejemplo, el diseño de procesos, compras, planeación de la producción y mercadotecnia.

La transformación física

La transformación física de materiales en productos terminados ocurre en el piso de producción. Es ahí donde la mayoría de los síntomas de manufactura tales como el excesivo trabajo en proceso, largos tiempos de entrega y alta tasa de defectos es manifestada. Muchas personas creen que las principales mejoras del desempeño en la manufactura se deben a la inversión, usualmente a gran escala de equipo y localizaciones en el estado del arte.

Los investigadores reportan que es muy difícil para una compañía invertir sólo para resolver problemas de productividad por lo menos en el corto plazo. La adición del nuevo equipo por sí mismo creará confusión y hará las cosas peor. Sin embargo, si esto se combina con el compromiso de explotar las oportunidades de mejora creadas por la inversión, los beneficios netos de tales adiciones tenderán a ser pequeños. Esto implica que el equipo por sí sólo es raramente el recurso primario de la ventaja competitiva de una empresa. Lo que importa es cómo es usado el equipo y cómo es integrado con materiales, personas e información a través de políticas, reglas y procedimientos que dirigen y controlan las actividades de una planta.

Una idea fundamental detrás del principio del JIT es el desarrollo de un sistema de producción sincronizado en el cual los materiales fluyen lentamente a través de una planta. Cualquier causa que pudiera distorsionar el flujo de producción, tal como largos tiempos de inicio, *layout* (distribución de planta) ineficiente, alta variación de los procesos, defectos y paros de máquina, deben ser eliminados. La siguiente lista ofrece siete pasos hacia la mejora de los sistemas de producción de una compañía.

1. Mejora del flujo de los materiales en el piso de producción. Reorganizar equipo y operaciones en celdas de manufactura consiste en agrupar máquinas y equipos requeridos para la producción de una serie de partes. Esta forma de *Layout* es llamada tecnología de grupos o manufactura celular. El uso de celdas tiene la ventaja de ofrecer grandes volúmenes de producción, aun cuando la demanda específica para las partes producidas en las celdas sea baja por unidad de tiempo.

2. Mejora de la flexibilidad para conocer la demanda cambiante del mercado mediante la reducción de tiempos de inicio (*setup times*). La reducción de los setups dirige a una reducción del tamaño de lotes, niveles de inventario y tiempos de entrega (*lead times*) de producción de tal manera que las operaciones de la fábrica sean suficientemente flexibles para responder a la cambiante demanda de mercado.

3. Actualización de las capacidades de las máquinas mediante la automatización y autonomización (automatización con toque humano) de bajo costo. Si una compañía usa una máquina particular de la misma manera en que lo hacen sus competidores, no diferencian sus capacidades de ellos. El reto es creativamente desarrollar ideas simples y económicas para mejorar las capacidades de una máquina dada, en lugar de comprar equipo de alto costo que se encuentre en el estado del arte. Dos conceptos desarrollados en Japón son de gran utilidad para incrementar las capacidades de las máquinas: JIDOKA y el POKAYOKE (a prueba de fallos). El concepto a prueba de fallos sugiere que las capacidades de las máquinas pueden ser actualizadas con discos o mecanismos que prevengan a los operadores de las máquinas el cometer errores y crear defectos.

4. Actualización de las habilidades de los empleados a través de la rotación de los empleos y el entrenamiento cros funcional, de tal manera que cada empleado pueda manejar más de un tipo de operación (por ejemplo, prensando, ensamble e inspección). Con trabajadores con habilidades multifuncionales, los sistemas de manufactura pueden ser fácilmente sintonizados para manejar variaciones en la demanda.

5. Mejora de la comunicación a través del uso de métodos visuales en la planta. La mayoría de las fábricas en Japón están equipadas con tableros luminosos desde lo alto hasta la línea de producción. Estos tableros luminosos son usados como una herramienta para mandar una señal visual que informe a los operadores la ocurrencia de condiciones a normales de manera que puedan tomar una acción correctiva inmediatamente. Mejora de la confiabilidad del proceso. Una habilidad para controlar la variabilidad de los procesos es esencial para el logro de altos niveles de calidad. Una serie de herramientas que es particularmente efectiva en la mejora de la confiabilidad de los procesos es el control estadístico de los procesos (SPC). El SPC incluye por ejemplo las gráficas de control de procesos que son usadas para monitorear varias características de los procesos y detectar variaciones anormales. Los diagramas causa-efecto pueden ayudar a un grupo de personas a explorar categórica y sistemáticamente las causas posibles de la variación, también se cuenta con el diagrama de Pareto, los histogramas, las cartas CUSUM y las cartas EWMA.

6. Eliminación de los problemas con las máquinas. Un principio fundamental en la prevención del paro de máquinas (*break down machina*) es mantenimiento preventivo total (TPM). El TPM es un concepto de mantenimiento proactivo desti-

nado a lograr la efectividad de todas las máquinas en un sistema de manufactura mediante el involucramiento de todas las personas en las actividades de mantenimiento.

Administración de la cadena de suministro

Una cadena de suministros consta de todas las etapas directa o indirectamente involucradas en la satisfacción de los requerimientos de los clientes. Esta incluye a los manufactureros, transportistas, centros de almacenamiento y distribución, proveedores, minoristas y el cliente final. Una etapa importante en la cadena de suministro es la administración de materiales, relacionada con el manejo y el movimiento de los materiales a través de los procesos de logística y distribución. El desarrollo de un flujo sincronizado de materiales dentro de una planta demanda cambios no sólo en el diseño y configuración del equipo y proceso de producción en la planta, sino que también en la forma en que se calendariza o programa y controla la producción y los inventarios.

2.5 Bibliografía

- Balle, M. (1995), *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London. Querying
- Mathaisel, B. F. (1993), “Managing IS across borders”, *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7
- Prabhaker, P. “Integrated marketing-manufacturing strategies”. *Journal of Business and Industrial Marketing* 16/2 [2001] 113 – 128.
- Shuguang, L. and Rongqiu, C. “Understanding and implementing CIM through BPR”. *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.
- Shonberg, R. J. “World Class Manufacturing: the next decade”. *Industrial Week*. March 18 [1996] 21 – 24.
- Shores, A. R. “A company productivity strategy for the road ahead”. *Handbook for Productivity Measurement and Improvement*, Edited by: William F. Christopher and Carl G. Thor; Productivity Press, Portland Oregon [1993] pp.1-11.1 – 1-11.19
- Swinehart, K. D, Miller, P. E. and Hiranyavasit, C. “World class manufacturing: Strategies for continuous improvement”. *Business Forum*; 25/ ½ [2000] 19-28

Parte I

Capítulo 3

Enfoque sistémico de los sistemas de manufactura

3.1 Introducción

Un sistema de manufactura presenta los atributos y características de un sistema en general (Lin et al., 1998). Este puede ser visto como la conversión de insumos (recursos y materiales) en productos terminados. Tal visión se enfoca en el flujo interno de los sistemas de manufactura, que está muy relacionado a la terminología usada en el diseño de sistemas. Lo anterior indica que un sistema de manufactura puede ser visto como una composición de entradas, procesos y salidas. Pero, ¿qué es un sistema? Y, ¿por qué es tan importante su estudio en el contexto de los sistemas de manufactura?

Para dar respuesta a la primera interrogante, debemos remontarnos a principios de los años 40 cuando Ludwig Von Bertalanffy y otros pensadores sistémicos de la Society for General Systems Research promovieron la idea del pensamiento sistémico para la sinergia y “unidad de la ciencia” en todos los sistemas vivientes. Desde entonces, se ha promovido la sinergia y la integración del campo del pensamiento sistémico enfocándose en la sinergia del cambio entre la teoría del caos, teoría de complejidad, dinámica de sistemas, pensamiento sistémico, planeación estratégica, pensamiento crítico, solución de problemas, juegos de liderazgo, desarrollo organizacional, y otras más de 30 disciplinas científicas.

Lo anterior indudablemente ha llevado a instituir el término sistema, por lo que se ha convertido en uno de los vocablos más utilizados en nuestro hablar cotidiano y profesional. Así, oímos hablar de Sistema de Transporte Urbano, del Sistema Solar, del Sistema Educativo, de Sistemas Computacionales ¡y hasta del Sistema Digestivo! Esta popularidad del término sistema resulta muy interesante ya que, a pesar de que todo mundo parece manejarlo de manera muy familiar, son pocos los que llegan a cuestionarse el significado profundo del concepto de sistema, y por ende, son pocos los que llegan a visualizar todo el potencial que representa el estudiar las diferentes entidades del mundo que nos rodea bajo la perspectiva del concepto de sistema.

Para ello, el pensamiento sistémico estudia la forma en la cual el todo y su contexto dan salida a las propiedades emergentes. También examina cómo el todo está conformado por los procesos y estructuras que lo definen. Por ello, el pensamiento sistémico es tanto reduccionista como holístico, es decir, jerárquico. Dado lo anterior, continuemos este capítulo definiendo el concepto de sistema.

Concepto de sistema

Definir el concepto de sistema no es una tarea fácil; entender su concepto y establecer una definición, requiere conocer un conjunto de características y elementos que lo componen. Comúnmente un sistema es definido como “un conjunto de elementos en interacción dinámica”. Ackoff define a un sistema como “un conjunto de dos o más elementos interrelacionados entre sí”. Para formalizar esta definición Ackoff

postula que los elementos del conjunto, y el conjunto de los elementos que forman un sistema tienen las tres siguientes propiedades:

- Las propiedades o el comportamiento de cada elemento del conjunto tienen un efecto en las propiedades o el comportamiento del conjunto tomado como un todo.
- Las propiedades y comportamiento de cada elemento, y la forma en que afectan al todo, dependen de las propiedades y comportamiento al menos de otro elemento del conjunto.
- Cada subgrupo posible de elementos del conjunto tiene las dos primeras propiedades: cada uno tiene un efecto no independiente en el total, y por consiguiente no se pueden formar grupos independientes.

Consideremos la siguiente proposición de R. Ackoff: “Visto estructuralmente un sistema es un todo divisible; pero visto funcionalmente es un todo indivisible”. Al decir que estructuralmente un sistema es un todo divisible se hace alusión al hecho de que, generalmente, las partes que constituyen a un sistema serán posibles de identificar por sí mismas, es decir, las partes del sistema constituyen entidades definibles que incluso podrán ser tratadas a su vez como sistemas y las llamaremos subsistemas. Al decir que funcionalmente un sistema es un todo indivisible se está enfatizando el aspecto global que caracteriza a un sistema; si eliminamos alguna parte del sistema bajo estudio estaremos cambiando su identidad, o al menos estaremos modificando su comportamiento.

Propiedades de sistemas

Los sistemas tienen, y por lo tanto se les debe identificar:

1. Objetivos
2. Transformación
3. Medidas de desempeño
4. Seguimiento y control
5. Toma de decisiones
6. Asignación de recursos
7. Fronteras
8. Flujo de información
9. Jerarquía de sistemas
10. Conectividades

Tipología de sistemas

Como se mencionó anteriormente, la idea general de Sistema puede resultar demasiado vaga cuando se pretende aplicar a situaciones particulares; de hecho, si

analizáramos brevemente la historia del desarrollo del concepto de sistema nos encontraríamos con que parte de sus orígenes se encuentra en el estudio de casos particulares que poco a poco fueron generalizándose, y que dieron como resultado los principios básicos que ya hemos estudiado.

Para su estudio los sistemas son clasificados desde diferentes puntos de vista, y la clasificación adoptada nos permite realizar un análisis detallado de los hechos. De esta manera podemos clasificar a los sistemas como: a) sistemas abiertos y cerrados; b) sistemas estáticos y dinámicos; c) sistemas probabilísticos y determinísticos; d) sistemas duros y suaves, etcétera. Para el caso particular de este escrito adoptaremos la clasificación de sistemas duros y sistemas suaves.

Originalmente Checkland clasificó a los sistemas en dos tipos. Los sistemas duros (*hard systems*); quienes tienen un enfoque cuantitativo, implican rigor matemático y cuantificación estricta para el tratamiento del sistema. Ejemplo de estos son la matemática, física y química. Las principales disciplinas desarrolladas bajo el enfoque de los sistemas duros fueron: a) la ingeniería de sistemas, b) el análisis de sistemas y c) la investigación de operaciones. En el ámbito de los sistemas de manufactura son la ingeniería de sistemas y la investigación de operaciones los principales elementos de estudio.

La Ingeniería de Sistemas duros está relacionada con el enfoque sistémico del diseño de ingeniería por los medios de la construcción y optimización de modelos. Las computadoras juegan un rol central en el diseño de procesos lo cual incluye: decidir qué sistema será diseñado, desarrollo de opciones de diseño, evaluación matemática y experimental de los diseños potenciales de acuerdo a algunas “medidas de efectividad”, diseño principal, prototipo de construcción, prueba, entrenamiento y evaluación.

Los sistemas suaves (*soft systems*); quienes tienen un enfoque cualitativo, son más flexibles y menos rigurosos para el tratamiento del sistema. Tienen sus raíces en las ciencias sociales y del comportamiento, tales como la sociología, psicología, política, economía, educación y administración. En el ámbito de los sistemas de manufactura, la aplicabilidad de los sistemas suaves no ha sido estudiada ampliamente; sin embargo, el contexto social de los sistemas de manufactura está presente.

3.2 Ingeniería de sistemas en el análisis de la manufactura

La reciente emergencia de la reingeniería de los procesos de negocios (BPR, *Business Process Re-engineering*) es un fenómeno interesante. Notables libros sobre el BPR como el de Hammenon and Champy (1993), Johansson et al. (1993) y McHugh et al. (1995), también como la filosofía de mejora de los procesos de negocios de Harrington (1991), han tenido un considerable impacto en la industria, gobierno y academias de investigación de Reino Unido (UK). Tomando una vista de procesos de los

negocios, y sus cadenas de suministro asociadas, está dando forma a que el gobierno de UK patrocine la investigación como es indicada por *Technology Foresight* (OST, 1995) y la respuesta del Research Councils (EPSRC, 1996; SERC, 1994).

Está claro para los practicantes de la ingeniería de sistemas que el BPR es un tipo de enfoque de sistemas de comercialización inteligente, que usa herramientas, técnicas y métodos con bases sistémicas. Asegurar que el concepto es nuevo es algo equivocado, de acuerdo con una opinión expresada por directivos generales en una reciente conferencia sobre el BPR ofrecida por un conocido ingeniero de sistemas: “La reciente publicidad dada al tópico por consultores y el libro de Hammer, quienes claman originalidad, son tanto equivocadas como muy tardías” (Parnaby, 1994). En este capítulo no intentamos ofrecer una crítica detallada del BPR. Evans et al. (1995), por ejemplo, ha subrayado las similitudes y diferencias entre el BPR, BPI y una perspectiva sistémica de la administración de la cadena de suministro. Watson (1994) también ha retomado una detallada crítica del movimiento de procesos y la ha relacionado con los principios de negocios de la ingeniería de sistemas. Lo que se pretende en este documento es ofrecer una breve idea general del movimiento sistémico y un ejemplo de la aplicación de la ingeniería de sistemas. Reconocer la base del origen sistémico en tales enfoques es ventajoso porque promueve una fertilización *cross* funcional de ideas, conceptos y teorías de diferentes áreas del movimiento sistémico. Es especialmente importante que los orígenes históricos de las “nuevas” filosofías de administración sean recordadas tanto para aprender de los errores pasados como de los éxitos.

Sistemas, pensamiento sistémico y enfoques sistémicos

Los términos sistema, pensamiento sistémico y enfoque sistémico están siendo usados con una creciente frecuencia, mientras tanto los conceptos que describen están siendo centrales en el pensamiento y enfoques adoptados por muchas disciplinas diferentes. Esta tendencia es indicativa de que el momento ha sido ganado por el “movimiento sistémico” en gran escala (Open Systems Group, 1987).

El pensamiento sistémico involucra ser sistémico o pensar en entidades, situaciones y problemas como un complejo de partes interactuantes, que pueden ser divididas en sistemas específicos y subsistemas. La identificación de sistemas es seguida por una examinación de las relaciones entre sistemas/subsistemas, flujos de influencia, materiales, energía, etcétera, que ocurre tanto dentro como entre los sistemas (Open Systems Group, 1987). Una examinación de las actividades dentro del movimiento sistémico sugiere un número de áreas de actividad. Estas incluyen esfuerzos para entender y describir sistemas del mundo real y en solucionar problemas.

Una variedad de enfoques sistémicos han sido desarrollados para facilitar el uso del pensamiento sistémico en esas áreas. Estos consisten esencialmente de una serie de pasos que añaden en la conceptualización de un sistema, las propiedades de sistemas y su comportamiento. En casos simples consisten en una lista de preguntas que un pensador sistémico podría seguir y aplicar (*Open Systems Group*, 1987). Formas más sofisticadas pueden ser altamente estructuradas, incluyendo fases de análisis, diseño, implementación y operación con rutas iterativas y abogar por el uso de un rango de herramientas particulares. No existe un enfoque que abarque todos los sistemas. Los enfoques sistémicos han sido desarrollados y extendidos de forma individual como apropiados (*Open Systems Group*, 1987).

Existe un principio fundamental que se encuentra en el centro de todos los enfoques sistémicos. Este es, que un sistema debe ser estructurado y creado de tal manera que logre las propiedades emergentes requeridas (IEE, 1993). Las propiedades emergentes son aquellas del sistema como un todo que no pueden ser replicadas por la simple adición de las partes. Es la interacción entre los varios sistemas y subsistemas quien proporciona las propiedades emergentes.

La aplicación del pensamiento de sistemas en la solución de problemas ha sido categorizada en la ingeniería de sistemas “duros”, teniendo objetivos y problemas que son o pueden ser bien definidos, relaciones que pueden ser precisamente descritas y donde la cuantificación es posible. En el otro extremo de la escala están aquellos que abordan sistemas “suaves”, con objetivos no estructurados y problemas para ayudar a la toma de decisiones (Checkland and Haynes, 1994).

A lo largo del espectro de sistemas entre “duros” y “suaves” existen numerosas aplicaciones del pensamiento sistémico. Estas incluyen los sistemas de ingeniería de control (Dorf, 1992; Nise, 1995), los sistemas de información (Davenport, 1994; Jacobsson et al, 1995; Mathaisel, 1993), sistemas geo-económicos (Grenhuizen and Nijkemp, 1995) y sistemas sociales (Coyle and Alexander, 1997). Sin importar la aplicación todos ellos tienen una variedad de principios comunes, y las herramientas de sistemas, técnicas y métodos empleados son similares.

3.3 La Ingeniería de Sistemas y los Procesos de Negocios

Pueden ser establecidas analogías entre la ingeniería de sistemas y la reingeniería de procesos de negocios. Lo siguiente describe un número de importantes principios sistémicos y los relaciona con los conceptos de procesos de negocios.

Flujos. El más conocido exponente de la necesidad de visualizar a los sistemas en términos de sus flujos subyacentes es Forrester (1961). Una perspectiva de una organización en términos de flujos de personas, materiales, órdenes, dinero e información (el mecanismo integrador) ayuda en la eliminación de las barreras fun-

cionales cuando es vista externamente. El enfoque de procesos de negocios es muy similar. La necesidad de visualizar un negocio en términos de procesos es también para eliminar silos funcionales y asegurar que una organización sea vista como una secuencia de tareas integradas (Balle, 1995; Hammer and Champy, 1993; Johanson et al., 1993). Cada trabajo de proceso es una “parte esencial que puede ser usada para incrementar la completa organización conforme ésta es corrompida en otros procesos para formar un proceso de negocios” (Watson, 1994).

Jerarquía de sistemas. Puede haber varios niveles jerárquicos en cualquier sistema. El concepto de jerarquía es también evidente en la literatura de procesos de negocios.

Propiedades emergentes. Todos los enfoques sistémicos promulgan el principio de propiedades emergentes; un sistema debe ser diseñado y operado para satisfacer una serie específica de criterios de desempeño basados en el todo y no en las partes individuales. Un proceso de negocios consta de subprocesos que están interrelacionados para como resultado una salida común. La salida común de cualquier proceso orientado a negocios es que éste marcha a través del entendimiento, y entonces la satisfacción de una necesidad de los clientes y por ello tiene que ser operado efectivamente para satisfacer aquella necesidad.

Método sistémico. Aunque por ningún medio prescriptivo, una metodología estructurada para la concepción de sistemas es requerida para asegurar que una ruta repetitiva para el entendimiento de un problema del mundo real a través de implementación y operación de una solución. La variedad de metodologías disponibles, relacionadas al pensamiento sistémico consta de cuatro pasos: Entender (*Understand*) -definir el problema, y Documentar (*Document*) -modelar un sistema existente es un prerequisite importante antes de que cualquier solución sea implementada para permitir que un análisis costo-beneficio sea llevado a cabo. Simplificar (*Simplify*) -utilizar de las métricas y modelos desarrollados previamente la oportunidad de eliminar desperdicio en todos sus formas tal como desperdicio en tiempo, desperdicio de materiales, desperdicio de información, desperdicio de capacidad, etcétera. Optimizar (*Optimize*) -solo una vez que el proceso ha sido identificado y racionalizado deben ser aplicados métodos de control “sofisticados” para asegurar su consistencia y fiabilidad.

Tabla 2.1 Comparación de dos diferentes sistemas de ingeniería

Etapas de BPR	Etapas de la reingeniería de los sistemas de información	Reingeniería de los sistemas de manufactura
1. Entender 2. Documentar 3. Simplificar 4. Optimizar	1. Visionar -incluye entender el negocio y capturar sus requerimientos 2. Ingeniería inversa -incluye el desarrollo de modelos del negocio existente y legalizar el sistema de información 3. Ingeniería de avanzada -incluye la simplificación de la codificación del software para auto contener el sistema de información	1. Análisis del mercado 2. Análisis del proceso de negocio -incluye el mapeo de los procesos 3. Diseño de estado estable -incluye asegurar que el sistema está balanceado y sincronizado 4. Diseño dinámico 5. Diseño de información y control y diseño del sistema de información

Fuente: Elaboración propia

3.4 Bibliografía

- Jackson, Michael C. (2000). "Systems Approach to Management", *Kluwer Academic Publisher*
- _____ (1995). "Beyond the Fads", *Working Paper*.
- Garajedaghi, J. (1999). "Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity – A platform for designing business architecture" USA. Capítulo 1 y 2
- Cárdenas, A. R. (1986). *Conceptos Básicos de Sistemas*, ITESM, México DF.
- De Rosnay (1979), *The Macroscopic*, ITESM, México DF.
- Yurtseven (2000). "Systems engineering and soft systems methodology: a review"
- Manson-Jones, R., Berry, D. and Naim, M. M. "A systems engineering approach to manufacturing systems analysis". *Integrated Manufacturing Systems*, 9/6 [1998] 350 – 365.
- Sage, A. P. "Manufacturing systems engineering and management". *Systems, Man, and Cybernetics*, [1996], IEEE International Conference on, Volume: 1, 14-17 Oct. 1996 Pages: 1-9 vol. 1.
- Balle, M. (1995). "The Business Process Re-engineering Action Kit", Kogan Page, London.
- Berry, D., Naim, M. M. and Towill, D. R. (1995). "Business process re-engineering an electronic products supply chain", *IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology*, Vol. 142 No. 5 pp 395-403.

- Burbidge, J. (1996). "Back to production management", *Manufacturing Engineer*, Vol. 75 No. 2, pp. 66-71.
- Burbidge, J.L. (1984). "Automated production control with a simulation capability", *Proceedings of the IFIP Conference*, WG5-7, Copenhagen, pp. 1-14.
- Checkland, P. B. and Haynes, M. G. (1994). "Varieties of systems thinking: the case of soft systems methodology", *System Dynamics Review*, Vol. 10 No. 2/3, pp. 189-97.
- Coyle, R. G. and Alexander, M. D. W. (1997). "Two approaches to qualitative modelling of a nation's drugs trade", *System Dynamic Review*, Vol. 13 No. 3, pp. 205-22.
- Dorf, R. (1992). *Modern Control Systems*, Addison- Wesley, California.
- EPSRC (1996). *Engineering and Physical Science Research Council Response to Foresight*, EPSRC, Swindon.
- Evans, G.N., Towill, D.R. and Naim, M. M. (1995). "Business process re engineering the supply chain", *International Journal of Production Planning and Control*, Vol. 6 No. 3, pp. 227-37.
- Forrester, J.W. (1961), *Industrial Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Grenhuizen, M. van and Nijkamp, P. (1995). "Industrial dynamics, company life histories and the core-periphery dilemma", *Geography Research Forum*, Vol. 15, pp. 49-69.
- Hammer, M. and Champy, J. (1993). *Re-engineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, Nicholas Brealey Publishing, London.
- Harrington, H. J. (1991). *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness*, McGraw-Hill, New York, NY.
- IEE (1993). *Guide to the Practice of System Engineering*, Issue 1.0, Institution of Electrical Engineers, London.
- Institution of Production Engineers. (1989). *Lucas Manufacturing System Engineering Handbook*, Institute of Production Engineers, UK.
- Jacobson, I., Ericsson, M. and Jacobson, A. (1995), *The Object Advantage*, ACM, New York, NY.
- Johansson, H.J., McHugh, P., Pendlebury, A.J. and Wheeler III, W. A. (1993). *Business Process Reengineering*, Wiley, Chichester.
- Mathaisel, B.F. (1993). "Managing IS across borders", *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.
- McHugh, P., Merli, G. and Wheeler III, W. A. (1995). *Beyond Business Process Re-engineering: Towards the Holonic Enterprise*, Wiley, New York, NY.
- Monden, Y. (1993). *The Toyota Production System*, Chapman & Hall, London.
- Nise, N. S. (1995). *Control Systems Engineering*, Benjamin Cummins, Menlo Park, CA.
- Open Systems Group. (1987). *Systems Behaviour*, Paul Chapman Publishing, London.

- OST (Office of Science and Technology) (1995). "Technology Foresight: Manufacturing, Production and Business Processes", HMSO, London.
- Parnaby, J. (1979). "Concept of a manufacturing system", *International Journal of Production Research*, Vol. 17 No. 2, pp. 123-35.
- Parnaby, J. (1991). "Designing effective organizations", *International Journal of Technology Management*, Vol. 6 No. 1/2, pp. 15-31.
- Parnaby, J. (1994). "Business process systems engineering", *International Journal of Technology Management*, Vol. 9 No. 3/4, pp. 497-508.
- SERC (1994). *Innovative Manufacture: A New Way of Working, Engineering and Physical Science Research Council*, Swindon.
- Towill, D. R. (1992). "Supply chain dynamics – the change engineering challenge of the mid 1990s", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 206, pp. 233-45.
- Towill, D. R. (1993). "System dynamics – background, methodology, and applications", *Computer and Control Engineering Journal*, October.
- Towill, D. R. (1997). "The seamless supply chain - the predator's strategic advantage", *International Journal of Technology Management*, Special Issue on Strategic Cost Management, Vol. 13 No. 1, pp. 37-56.
- Watson, G. H. (1994). *Business Systems Engineering: Managing Breakthrough Changes for Productivity and Profit*, John Wiley & Sons, New York, NY.
- Wolstenholme, E. F. (1990). *System Enquiry: A System Dynamics Approach*, John Wiley, Chichester.

Parte II

Computadoras y manufactura de flexible

Parte II

Capítulo 4

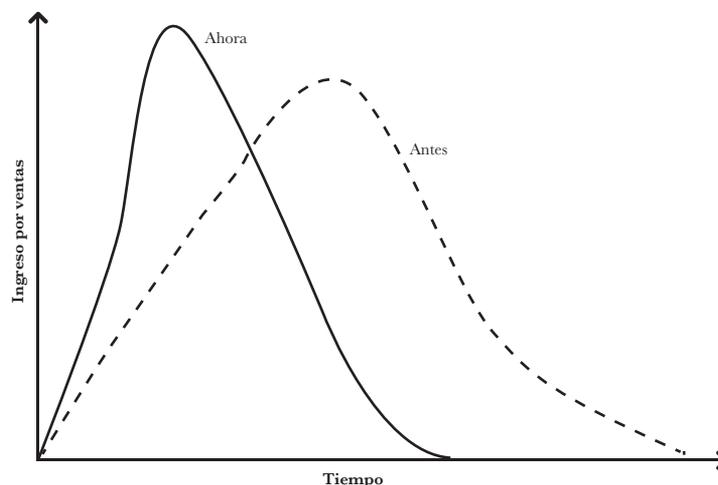
**Introducción a la manufactura integrada por
computadora**

4.1 Introducción

La presión competitiva para satisfacer las expectativas de los clientes está creciendo a un ritmo cada vez más rápido. La mejora pasiva de productos y servicios ya no es suficiente para sobrevivir en el mercado global; por lo que existe una necesidad de cambio radical en la forma en que operan las empresas manufactureras y de servicios. Algunos han encontrado en la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) una nueva plataforma de competitividad. La inversión en CIM debe estar acompañada de un deseo y una visión para mejorar la tecnología avanzada con integración administrativa. Este capítulo está diseñado para ofrecer al estudiante una visión global e integrada del concepto de Manufactura Integrada por Computadora.

A pesar de que es un concepto relativamente nuevo (el término fue acuñado por Dr. Joseph Harrington en 1973), CIM (Computer Integrated Manufacturing) ha recibido una gran atención por parte de los administradores de producción y de control de inventario, así como de consultores e investigadores. CIM representa un importante camino para que la manufactura pueda mejorar su competitividad en mercados domésticos y globales, ya que en los últimos años los mercados internacionales de bienes de producción sufrieron un cambio radical, porque ahora es el cliente quien define el mercado; es decir, al producto y sus características, y es el fabricante quien debe adecuarse a ellos (ver Figura 4.1). Esta situación también es generada por los avances en la tecnología; acelerando los ciclos de vida de los productos y paralelamente aumentando la competencia globalizada.

Figura 4.1. Ciclo de vida del producto



Fuente: Elaboración propia

Las fábricas tradicionales se han visto obligadas a cambiar tanto su esquema de administración de como de operación por métodos más ágiles y dinámicos. Esto los ha llevado a entender que el mercado y la industria han sufrido cambios significativos en la variedad y diversidad de productos, gestión de inventarios y flujos de producción.

4.2 Definición y alcances del CIM

De acuerdo a Wallace and Dougherty (1987) CIM es “la aplicación de una computadora para unir y conectar varios sistemas computarizados en un todo coherente e integrado”. El término de CIM ha sido asociado con el uso de la última tecnología de producción. Pero CIM no es una pieza de maquinaria. De hecho, CIM no es tecnología, sino una forma de utilizar tecnología (Green, 1987).

Para algunos, CIM no es nada más que el uso completo de tecnología asistida por computadoras. CIM es visto como un sinónimo del uso de sistemas de manejo automático, robots, y sistemas flexibles de manufactura. Para otros, CIM es un sistema basado en la información; representando un camino de administración y estructuración que son la base de datos de la organización. Finalmente, para otros, CIM es un sistema de estrategia, que hace uso de la tecnología de computadoras para ayudar satisfacer las necesidades de su mercado.

Diversos autores ofrecen múltiples definiciones del término, enfatizando el aspecto tecnológico del mismo. Algunos lo definen como “una aplicación de la tecnología que provee a la compañía un flujo de datos interrumpido a lo largo de todo el proceso de manufactura y administración”. Otros lo definen como “una estrategia que permite a varias áreas dentro de una compañía industrial enlazarse a través de un sistema computarizado, llegando a ser una unidad operacional integrada”. La definición adoptada en esta obra es:

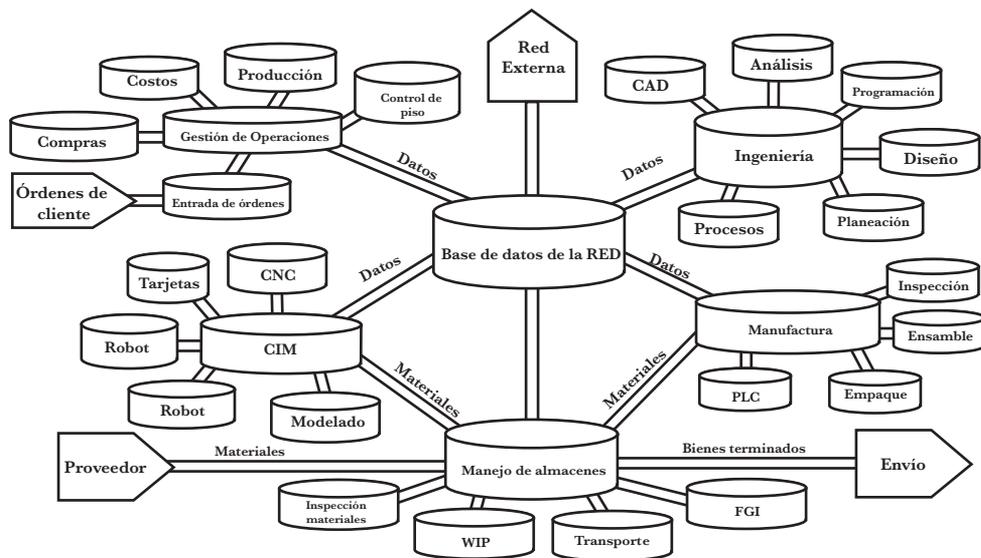
CIM es la integración de la empresa manufacturera en su totalidad, mediante el uso de sistemas integrados de comunicación de datos, en conjunto con nuevas filosofías administrativas que mejoren la eficiencia organizacional y personal.

CIM puede ser visto como un acercamiento consistente y coherente hacia el funcionamiento, operación e integración del negocio empresarial. Sin embargo, CIM es la integración del diseño, ingeniería, fabricación, logística, almacenamiento y distribución, clientes y proveedores, ventas y actividades de mercadotecnia, administración financiera en el control total de la empresa. El concepto de CIM implica que todas las operaciones de la empresa relacionadas con la función de producción sean incorporadas en un sistema integrado por computadoras que asista, aumente

y/o mejore las operaciones. El sistema computacional es extendido a través de la empresa, tocando las actividades que dan soporte a la manufactura. En este sistema integrado de computadoras, la salida de una actividad sirve como la entrada a una actividad siguiente, a través de la cadena de eventos que comienza con la orden de ventas y culmina con el embarque del producto (Liu and Chen, 1998).

CIM es un enfoque manejado por el cliente que integra todas las actividades relacionadas con la satisfacción del mismo; desde la percepción de la necesidad de un producto, la concepción, el diseño y el desarrollo del producto; también la producción, mercadotecnia y soporte del producto en uso. Dado que toda acción envuelta en estas actividades usa datos alfabéticos, gráficos o numéricos; la computadora, hoy en día es la herramienta más importante en la manipulación de los mismos, ofreciendo grandes posibilidades de integrar todas estas operaciones de manufactura (ver Figura 4.2). La integración del negocio y de las actividades manufactureras usando sistemas de computación y comunicación implica la integración y el flujo de información y conocimiento mediante el uso de bases de datos abiertos y compartidos. Este concepto es lo que se denomina Manufactura Integrada por Computadora.

Figura 4.2. Estructura de la Manufactura Integrada por Computadora



Fuente: Adaptado de Manufactura Integrada por Computadora. M. Ing. Jorge S. Ierache, Facultad de Ingeniería U. B.

A pesar de que CIM implica integrar todos los pasos de un proceso de manufactura, en la práctica muchas compañías han logrado grandes beneficios al implementar sistemas CIM parciales, es decir, en solo algunas áreas de la empresa, sin embargo, se sabe con certeza que una integración total del sistema es el próximo paso a seguir.

En resumen, CIM crea la posibilidad de coordinar e integrar todas las funciones de una empresa, de simplificar las líneas de comunicación y de incrementar el acceso y autonomía de todos los trabajadores. La característica novedosa del CIM es que permite que las empresas automaticen los flujos de información en paralelo con el flujo de materiales (Liu and Chen, 1998).

4.3 Formulación del CIM

Una empresa no puede garantizar su competitividad simplemente adecuándose a los vaivenes del mercado; sino que debe hacerlo con un proceso de planeación a largo plazo, que como objetivo cree una estrategia que asegure el éxito económico. Debido a los cambios que en los últimos años han sufrido los mercados internacionales de bienes de producción, mantener la competitividad ha pasado a ser una cuestión primordial para las empresas. Mejorar la calidad de los productos, ampliar la gama, reducir plazos de suministro y mejorar en el cumplimiento de los plazos son solo algunas medidas estratégicas que las empresas pueden adoptar para acercarse a este objetivo. En un sentido complementario CIM puede auxiliar a los administradores a plantear algunas de sus estrategias de negocios. Estas incluirían un cuestionamiento sobre el rol actual de los clientes, dueños, proveedores, empleados y cuerpos regulatorios externos en dichas estrategias.

Pese a que no existe un concepto CIM estándar, existen empresas que quieren adaptar formulaciones de otras empresas a problemas similares, para diseñar soluciones a sus necesidades; corriendo el riesgo de aplicar un concepto ajeno a sus requerimientos. Por eso, es imprescindible que la empresa responda los siguientes interrogantes que permitirán formular soluciones CIM personalizadas:

1. ¿Cómo está posicionada la empresa en el mercado?
2. ¿Cuáles son los objetivos de la empresa y en qué entorno, en los próximos años?
3. ¿Qué productos se pueden fabricar más económicamente?
4. ¿Qué actividades afectan directamente a las ventas? (por ejemplo: servicio, precios, calidad, plazo de entrega, etcétera).
5. ¿Se pueden modificar los procesos para reducir costos y dar mayor flexibilidad a la fabricación?

Cuanto mayor sea la precisión con que se respondan estas preguntas se podrán establecer los objetivos con mayor precisión.

La productividad puede ser incrementada mediante el uso de sistemas de automatización como computadoras de gran capacidad para el control de la producción, sistemas de fabricación automatizados, máquinas y herramientas con control numérico y robots industriales. Sin embargo, los sistemas automatizados para el proceso de fabricación son generalmente islas de producción autónomas, funcionando como soluciones aisladas que llevan sólo a un éxito parcial. Este es el sentido en que operan las formulaciones tradicionales CIM, donde las funciones son soportadas por espacio de decisiones separadas (Mejabi, 1994).

La integración de las funciones proveerá de interacciones en tiempo real entre esas funciones. Desde una perspectiva empresarial, espacios de decisiones paramétricas son fragmentados y su existencia previene la asociada serie de funciones de operación como un todo de procesamiento de información y de tomas de decisiones, de manera que los resultados reflejen una secuencia de decisiones discretas. Parte de la dificultad en el logro de la integración proviene de la distinción obstructiva de lo local versus lo global.

El valor de la información

Para lograr una automatización efectiva y para que se puedan encadenar fácilmente los sistemas automatizados debe haber una coordinación de tres funciones:

- Mecanización
- Flujo de materiales
- Flujo de la información

En las organizaciones modernas, la información se convierte en un factor de producción decisivo. Para mejorar la flexibilidad de una empresa es necesario mejorar la calidad de la información de que dispone, la cual deberá ser procesada además en mayores volúmenes y con mayor velocidad. Esto exige el tratamiento integrado de los datos técnicos, y para ello es condición necesaria la existencia de un flujo continuo de información.

Por este motivo, después de haber desarrollado sistemas de automatización aislados, lo que se pretende es que los datos generados en cada uno de los sistemas sean también accesibles a otros ámbitos y sistemas. De la misma forma que el flujo de materiales y el flujo de energía se tratan de forma logística en el ámbito de la producción, el flujo de información deberá tratarse también como un problema logístico. Puede hablarse de una “logística de información” en donde se debe tratar la información correcta, en cantidad y calidad adecuada a las necesidades, en el momento preciso y en el lugar adecuado.

La solución lógica de la información exige que se analicen las estructuras tradicionales y se creen ámbitos funcionales con interfaces claras, a fin de garantizar

la transparencia de las funciones de la empresa necesaria para el tratamiento informático. Uno de los requisitos fundamentales a la hora de poner en práctica el CIM es disponer de un flujo continuo de información. Por lo tanto la meta fundamental de CIM, asegurar una alta disponibilidad de datos necesarios en todas las etapas de la cadena de procesos comerciales, logísticos y tecnológicos.

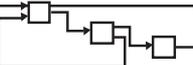
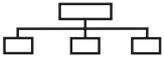
Integrar la información no significa, sin embargo, que exista una red comunicación de datos entre computadoras. Los datos digitales se convierten en información útil en cuanto dichos datos puedan ser interpretados de la misma manera por el emisor y el receptor. En este sentido, tiene especial importancia y constituye, por lo tanto, uno de los factores más importantes para el éxito de CIM la existencia de interfaces que permitan el intercambio de información entre todos los sistema intervinientes.

Generalmente se sabe que CIM sólo producirá resultados exitosos, si la tecnología instalada es acompañada por recursos humanos y estructuras organizacionales apropiados, es importante determinar las opciones organizacionales dentro de la compañía, antes de optar por un determinado tipo de tecnología, es también importante prever que obligará a un cambio de cultura frente a la innovación.

Implementación de CIM

El objetivo estratégico de una empresa es siempre asegurar su potencial de éxito para un período de tiempo tan prolongado como sea posible. CIM trata de contribuir a asegurar este potencial de éxito. Esta es la orientación que ha de seguirse cuando se lleva a cabo la introducción del CIM. La Figura 4.3 muestra algunas consideraciones preliminares a analizar en un CIM.

Figura 4.3. Análisis de un CIM

Aspectos	Qué se debe analizar en un CIM	Contenidos
Procesos		<ul style="list-style-type: none"> - Procesos de la compañía - Jerarquía de los procesos - Grupos funcionales - Secuencia de funciones
Información		<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de información - Relaciones - Flujo de información - Estructuración
Recursos		<ul style="list-style-type: none"> - Recursos tecnológicos <ul style="list-style-type: none"> - Capacidades - Infraestructura - Recursos Humanos <ul style="list-style-type: none"> - Habilidades - Experiencias - Conocimientos
Organización		<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque de producto o proceso - Estructura organizacional - Enfoque de control

Fuente: Ingeniería De Manufactura. Manufactura Integrada por Computadora (CIM) Ing. Ricardo Jiménez

Para que CIM se convierta en una realidad tangible hay que prever un período de varios años. En CIM debe considerarse la totalidad de la empresa, comenzando por el programa de producción, pasando por la organización fija, la organización de desarrollo, los distintos ámbitos que intervienen en la producción, las instalaciones (situación de la fábrica, máquinas, sistemas de transporte e información) hasta llegar al personal.

CIM significa que los métodos tradicionales para la organización del trabajo serán reemplazados por nuevas estructuras organizacionales caracterizadas por sistemas flexibles, integrados y abiertos, administración horizontal, énfasis en autoadministración y un ambiente activo de autoaprendizaje. CIM es introducido en las empresas por las siguientes razones estratégicas:

- Aumento de la flexibilidad.
- Reducción de costos, que resulta de tiempos de procesos cortos.
- Reducción de requerimientos de almacenamiento.
- Mejora de la calidad de los productos.

Niveles jerárquicos en un CIM

En la implementación de soluciones CIM son considerados cinco niveles jerárquicos los cuales son descritos a continuación:

1. Nivel de controlador de planta. Es el más alto nivel de la jerarquía de control, es representado por la(s) computadora(s) central(es) (*mainframes*) de la planta que realiza las funciones corporativas como: administración de recursos y planeación general de la planta.

2. Nivel de controlador de área. Es representado por las computadoras (minicomputadoras) de control de las operaciones de la producción. Es responsable de la coordinación y programación de las actividades de las celdas de manufactura, así como de la entrada y salida de materiales. Conectada a las computadoras centrales se encuentra(n) la(s) computador(as) de análisis y diseño de ingeniería donde se realizan tareas como diseño del producto, análisis y prueba. Adicionalmente, este nivel realiza funciones de planeación asistida por computadora (CAP, por sus siglas en inglés), diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) y planeación de requerimientos de materiales (MRP, por sus siglas en inglés).

3. Nivel de controlador de celda. La función de este nivel implica la programación de las órdenes de manufactura y coordinación de todas las actividades dentro de una celda integrada de manufactura. Es representado por las computadoras (minicomputadoras, PC y/o estaciones de trabajo). En general, realiza la secuencia y control de los controladores de equipo.

4. Nivel de controlador de procesos o nivel de controlador de estación de trabajo. Incluye los controladores de equipo, los cuales permiten automa-

tizar el funcionamiento de las máquinas. Entre estos se encuentran los controladores de robots (RC's), controles lógicos programables (PLC's), CNC's, y microcomputadores, los cuales habilitan a las máquinas a comunicarse con los demás (incluso en el mismo nivel) niveles jerárquicos.

5. Nivel de equipo. Es el más bajo nivel de la jerarquía, está representado por los dispositivos que ejecutan los comandos de control del nivel próximo superior. Estos dispositivos son los actuadores, relevadores, manejadores, switches y válvulas que se encuentra directamente sobre el equipo de producción. De una manera más general se considera a la maquinaria y equipo de producción como representativos de este nivel.

4.4 CIM en perspectiva

Para obtener una visión global del CIM es necesario realizar una revisión de los beneficios tangibles e intangibles de su implementación; así como ofrecer una breve noción de sus obstáculos.

Beneficios tangibles

- Inventario reducido
- Menos espacio de piso
- Calidad más alta

La flexibilidad de procesos, el flujo de productos más ordenado, mayor calidad, y una mejor programación de la producción son típicas mejoras del uso apropiado del concepto CIM. Menores niveles de inventario, menor cantidad de máquinas controladas por computadora para hacer el mismo trabajo que un gran número de máquinas convencionales. También, el piso de la fábrica no será más usado para almacenar el producto terminado. Una gran mejora de calidad, es el tercer beneficio tangible de la inversión en tecnología CIM. El proceso automático conduce directamente a una producción más uniforme y, frecuentemente, a un descenso de un orden de magnitud en defectos. Estos beneficios son fáciles de cuantificar y deberían ser parte de cualquier análisis económico. Algunos administradores han visto una disminución de cinco a diez veces en derroche, descarte y puesta al día cuando reemplazan operaciones manuales con equipamiento automatizado. Además, como la producción crece uniformemente, se requieren controles.

Beneficios intangibles

- Mayor flexibilidad
- Menor tiempo de rendimiento y de producción

- Incremento de aprendizaje
- Rápida respuesta ante cambios en el mercado

Estos beneficios son tan importantes como los beneficios tangibles pero mucho más difíciles de cuantificar. La dificultad surge en gran parte porque estos beneficios representan un incremento de ingresos más que un ahorro de costos. Más allá de las aplicaciones en el campo económico, las capacidades de reprogramación de CIM hacen posible que las máquinas sirvan de respaldo unas con respecto de las otras. Además, mediante un fácil acomodamiento de las instrucciones de ingeniería y el rediseño de productos, la tecnología CIM permite cambios de productos en el tiempo. Si la mezcla de los productos demandados por el mercado cambia, el proceso basado en CIM puede responder sin un incremento de los costos. Otro aparente beneficio intangible de CIM es la gran reducción que hace posible en los tiempos de rendimiento y producción. Algunos de los beneficios de la gran reducción de tiempos de rendimiento son incorporados en la estimación de ahorros de la reducción de inventarios. Pero hay también una notable ventaja de mercadotecnia al ser capaz de encontrar las demandas del cliente con tiempos de producción cortos y una rápida respuesta a los cambios de demanda en el mercado.

Beneficios estratégicos del CIM

Los beneficios estratégicos están relacionados a:

- Flexibilidad
- Calidad
- Tiempo perdido
- Inventarios
- Control gerencial
- Espacio físico

Con respecto a la flexibilidad la aplicación del CIM presenta un aumento en la capacidad de responder más rápidamente a cambios en los requerimientos de volumen o composición. Al hablar de calidad, la implementación del CIM resulta en una inspección automática y de mayor consistencia con la manufactura. En cuanto a la pérdida de tiempo, CIM ofrece reducciones importantes resultantes de la eficiencia en la integración de la información. En términos de inventarios, CIM permite la reducción de inventario en proceso y de producto terminado, debido a la reducción de pérdidas de tiempo y el acceso oportuno a información precisa. CIM ofrece un mayor control gerencial como resultado de la accesibilidad a la información y la implementación de sistemas computacionales de decisión sobre factores de

producción. Finalmente CIM favorece la reducción del espacio físico como resultado del incremento de la eficiencia en la distribución y la integración de operaciones. Adicionalmente CIM previene riesgos de obsolescencia, manteniendo la opción de explotar nueva tecnología.

Obstáculos a CIM

El grado en el que la firma esté capacitada de tomar ventajas de las capacidades y del poder del futuro CIM, dependerá de su habilidad de identificar y vencer estos obstáculos:

- Organizacionales
- Estratégicas
- Humanas
- Sistemas
- Evaluación y justificación
- Medición de rendimiento

Organizacionales. Las estructuras organizacionales deben cambiar cuando se requiera. Una compañía que está organizada a lo largo de líneas funcionales debe estar capacitada para reestructurarse a sí misma a lo largo de líneas de productos. Y además, las estructuras deben ser lo suficientemente flexibles para permitir una integración cross funcional. Sin esta flexibilidad, los sistemas del futuro CIM no pueden ser desarrollados, puesto que el énfasis en los sistemas de procesos y entrega requeridos para el futuro CIM serán difíciles de conseguir.

Estratégicas. Para que CIM sea usado eficazmente, deberá haber primero una estrategia corporativa que esté designada a generar una ventaja competitiva sustancial para la firma. El sistema CIM que es implementado es una expresión de la estrategia corporativa. Su estructura, orientación, y objetivos son derivados de la estrategia corporativa. CIM se convierte en un medio por el cual los objetivos estratégicos son alcanzados. Sin embargo, hay dos instancias en que la estrategia puede actuar como barrera en el desarrollo de CIM. La primera es una en la que la firma carece de una estrategia corporativa bien desarrollada, comprensiva, completa, y factible. Ellos pueden ver CIM como un fin en vez de un medio hacia un fin. El resultado es un sistema CIM enfocado pobremente e ineficaz. La segunda instancia es una en que la estrategia corporativa es inflexible. Los administradores deben reconocer que CIM puede influenciar la estrategia corporativa.

Humanas. Si CIM va a tener éxito y va a desarrollarse en el tiempo, debe ser aceptado y soportado por las personas que lo usarán. Esta no es una condición fácil de satisfacer, dado que para mucha gente, CIM representa un cambio. Aún

más, la gente puede oponerse a CIM porque lo asocian con una reducción de la fuerza de trabajo de la firma. Esta situación se encuentra cuando la demanda por los productos de la firma está estable. Pero no sólo hay que conseguir la aceptación de los empleados, sino también del comité de empresa. En el proyecto se ha visto una y otra vez que el comité de empresa juzga a este concepto de forma desconfiada si no ha sido llamado a participar en su preparación. Solamente si puede colaborar desde un principio en las conversaciones de planificación evaluará correctamente el objetivo de CIM, defendiendo entonces las medidas necesarias frente a la plantilla.

Sistemas. CIM puede ser visto como un cristal magnificador que hace mejores a los sistemas buenos y peores a los sistemas malos. CIM no es un reemplazo para un sistema de planeación de manufactura y control inefectivo, incompleto o ineficiente. A causa de este hecho, las firmas deben tener manuales de sistemas efectivos antes de implementar CIM.

Evaluación y justificación. Tradicionalmente, los sistemas CIM han sufrido de problemas por justificación de costo. Siempre fue una dificultad justificar la introducción de sistemas CIM usando procedimientos de justificación de inversiones tradicionales como Flujos de Efectivo o Periodo de Recuperación (*payback*). Implementar un sistema CIM es una inversión importante que requiere una gran suma de tiempo, dinero, equipamiento, y fuerza humana. Mientras que mucha de esta inversión debe ser “upfront” y los resultados en una afluencia de caja; los beneficios cuando ocurren, son una mezcla de elementos cuantitativos y cualitativos. Reducciones en costos (cuantitativo) son frecuentemente acompañadas por mejoras en tiempos de producción, calidad, congestión del piso, y pronosticabilidad de rendimiento (mejoras cualitativas). En adición, las implementaciones CIM son proyectos a largo plazo, casi siempre requieren un exceso de cinco años. Es difícil generalizar experiencias con sistemas, porque cada firma es diferente. Finalmente, es difícil identificar todos los beneficios ganados desde la implementación de un sistema CIM.

La implementación de CIM busca, por un lado, aumentar la productividad y, por otro, mejorar la calidad de los productos. Un reciente estudio aporta información sobre los beneficios que ha traído el CIM a las empresas que lo han implementado. En la Tabla 4.1 se presentan algunos de los resultados:

Tabla 4.1 Beneficios de la implementación de un sistema CIM

Reducción en costos de diseño	15 - 30 %
Reducción en tiempo perdido	30 - 60 %
Incremento de la calidad del producto	2 - 5 veces el nivel anterior

Incremento en el aprovechamiento de los ingenieros respecto de la extensión y profundidad de sus análisis	3 - 35 veces
Incremento de la productividad de las operaciones de producción	40 - 70 %
Incremento de la productividad de las máquinas	2 - 3 veces
Reducción de trabajo en el proceso	30 - 60 %
Reducción de los costos de personal	5 - 20 %

Fuente: Elaboración propia

4.5 Ámbitos funcionales del CIM

En todo plan de implantación de CIM se establece un modelo funcional ideal para la empresa. En esta sección se expondrán los principales ámbitos funcionales que se encuentran en un sistema CIM (ver Figura 4.4).

CIM (*Computer Integrated Manufacturing*)

AWF: El CIM describe la utilización integrada de la informática en todos los ámbitos de fábrica relacionados con la producción. Abarca la interacción de CAD, CAP, CAM, CAQ y PPC a nivel de tecnología de la información. Con ello se intenta lograr la integración de las funciones técnicas y organizativas para la fabricación del producto (lo que exige la utilización conjunta de una base de datos a nivel superior al de división).

El CAI (Computer Aided Industrie) comprende, además del CIM, la organización de la empresa asistida por ordenador (CAO).

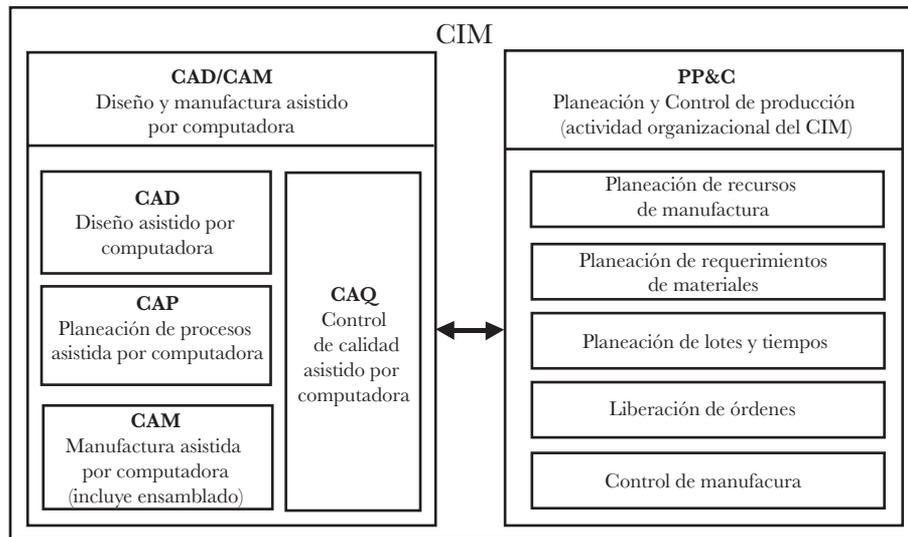
PPC (Planificación y Control de la Producción)

AWF: Se designa como PPC a la utilización de sistemas asistidos por ordenador para organizar la planificación, control y seguimiento de las distintas fases de producción, desde la tramitación de la oferta hasta la expedición, en los aspectos de cantidad, plaza y capacidad.

La planificación y control de la producción es uno de los ámbitos centrales del CIM. Las funciones principales pueden subdividirse en planificación de la producción, de cantidades, plazos y capacidad de producción, lanzamiento y supervisión de los órdenes de trabajo y administración de datos. Para llevar a cabo las diversas funciones del PPC es necesario basarse en numerosos datos básicos tales como datos maestros de piezas, listas de piezas, procesos de trabajo, centros de costos, datos de capacidad

y datos condensados de ordenación. De esta manera se observa el carácter interdisciplinario de la conservación y responsabilidad de datos (CAD,CAP, PPC).

Figura 4.4 Ámbitos funcionales de CIM



Fuente: Rembold U. (1993), "Computer Integrated Manufacturing". Prentice Hall (1841).

Para cada ámbito se expone en primer lugar la recomendación de definiciones del AWF (Comité para Producción Económica) y luego se hace una breve descripción de sus funcionalidades. Las funciones del PPC son:

- Planeación del programa de producción: opera esencialmente a nivel de producto. La planificación aproximada calcula la capacidad necesaria, en cuanto a cantidades y plazos, para el programa de producción previsto, para los pedidos de clientes que se reciban y las ofertas.
- Planeación de cantidades: sirve para determinar las piezas a fabricar y el material que ha de almacenarse, según clase y cantidad, con el fin de poder cumplir en plazo el programa de producción previsto.
- Programación de materiales: desglose de listas de piezas (composiciones) y determinación de las necesidades brutas y netas.
- Programación de la producción: planeación de plazos y capacidades de producción, planeación aproximada. En la determinación de los tiempos de ciclo se calculan los plazos de mecanizado. Esto puede realizarse mediante un cálculo de plazos hacia delante o hacia atrás. En el primer caso, la fecha

fija es la de comienzo, y en el segundo caso, la fecha fija es el plazo final. Al determinar el tiempo de ciclo se parte de una capacidad de fabricación necesaria para el programa de órdenes de trabajo actual.

- Lanzamiento de la orden de trabajo: el cometido de esta función es convertir el pedido del cliente en órdenes de producción para el ámbito CAM y pedidos a los proveedores.
- Seguimiento de la orden de trabajo: consiste en asignar las órdenes de producción a las capacidades de fabricación existentes y efectuar el seguimiento de la producción. El horizonte de planeación y supervisión es a medio plazo (semanas a meses).

CAD (Diseño asistido por computadora)

AWF: CAD es un concepto global que resume todas las actividades en las que se utiliza la informática de forma directa o indirecta, dentro del marco de las actividades de desarrollo y diseño. En un sentido más estricto, esto se refiere a la generación gráfica-interactiva y a la manipulación de una representación digital de un objeto, por ejemplo mediante la preparación de un dibujo bidimensional o mediante la creación de un modelo tridimensional.

Funciones del CAD:

- Establecimiento del esquema
- Cálculo
- Especificación del producto
- Simulación
- Establecimiento y conservación de la lista de piezas de diseño
- Cálculo previo de costes
- Servicio de modificaciones

Cronológicamente, los sistemas CAD fueron los primeros en aparecer, luego aparecieron los CAM y finalmente se llegó al concepto CIM; esto ocurrió así debido a que cada nuevo sistema se basó en el anterior o al menos lo usó como base. Muchos de los sistemas CAD/CAM en uso hoy en día están diseñados y pensados para automatizar funciones manuales, independientemente de si la función particular que cumplirán será análisis ingenieril, diseño conceptual, dibujo, documentación o la programación de la maquinaria de manufactura e inspección. La implementación de sistemas CAD/CAM es una decisión fundamental que depende de cuánto de la tecnología se necesitará en una empresa / trabajo en particular. Si el trabajo que se realizará es una sola pieza, que a largo plazo sufrirá solo pequeñas modificaciones,

se necesitará un CAD simple; en cambio, si se habla de productos con múltiples piezas y con necesidad de intercambiabilidad, estamos hablando de una computadora sofisticada y un programa más complicado. Esto significa además que al planear una inversión en hardware y software, se debe hacer fríamente, de tal manera que se dé a conocer el ciclo de vida de los equipos y de los programas. Las empresas que implementan este sistema no deben pensar que tendrán solo un costo inicial y después andará todo sobre ruedas, pues en la práctica, el uso de estos sistemas implica costos y necesidades constantes, fundamentalmente por los apresurados cambios tecnológicos que se producen hoy en día.

Sin embargo, la diferencia de costo y potencia entre las plataformas computacionales requeridas para un CAD y un CAD/CAM ya no son tan notorias. Esto se debe a que los computadores personales ya son suficientes para manejar el software, y los costos de éste o aquel son similares, así como el costo de su puesta en marcha (díganse operadores, cursos, implementación, etcétera). Lamentablemente, en caso de que el software no sea muy compatible o esté pasado de moda, se pierde dinero. Por esto la industria computacional ha tendido a una mayor estandarización de sus productos, con el fin también de disminuir costos, así como ha implementado el concepto de *Upgrade*, el cual permite conseguir la última tecnología dando la antigua “en parte de pago”.

Las redes computacionales han contribuido enormemente con el desarrollo de los sistemas CAD/CAM, teniendo la desventaja de que se pierde un poco la privacidad de la información, ya sea porque el sistema de red es muy complejo o porque hay un mayor número de usuarios con acceso directo a él. Se han desarrollado numerosos protocolos con el fin de salvaguardar las comunicaciones entre computadoras, algunos de ellos son: ETHERNET, TCP/IP, MAP/TOP, ASCII, FTP, NFS, y muchos otros.

En los periféricos de la computadora misma han existido grandes avances también, que han permitido mejorar ostensiblemente la calidad de las imágenes. Es así como hoy existen monitores de 4 000 por 4 000 píxeles y millones de colores. También en el área de los scanner, plotters e impresoras se ha logrado gran éxito, existiendo digitalizadores de imágenes en tres dimensiones, impresoras a color y otros.

El término plataforma de software se aplica en este caso a la arquitectura de software básica, incluyendo base de datos, metodología, capacidades gráficas y herramientas geométricas. Con base en esta definición, existen tres clasificaciones básicas de plataformas CAD/CAM: 2D, 2-1/2D y 3D. Dentro de estas clasificaciones existe una serie de herramientas para generar y usar variadas librerías de símbolos y partes, así como para agregar distintos niveles de inteligencia. Rodeando estas clasificaciones hay herramientas adicionales para personalizar, acceso, entrada/salida y periféricos. Tras estas clasificaciones hay distintas definiciones de geometría

usada para curvas, superficies y sólidos. Es la combinación agregada de todas estas herramientas la que da vida al concepto de plataforma.

La modelación básica, la modelación del ensamblado, el cuidar los detalles, el dibujo y la documentación son las herramientas que componen la plataforma de software en el ambiente CAD/CAM. En el mundo del CAD/CAM, el primer foco está apuntado a la geometría. Es, al mismo tiempo, la herramienta con la que el sistema se construye y la primera constante en cualquiera de sus aplicaciones. Muchos sistemas CAD/CAM disponibles están confinados a la creación de diseños y dibujos a través de los gráficos de un computador. Otros proveen un más comprensivo juego de herramientas y geometría, tal y como lo permite la tecnología actual.

Los métodos básicos de modelación usados por estos sistemas son los que definen su precio, capacidad y productividad para el usuario. Por ejemplo, los sistemas de dibujo de dos dimensiones requieren algoritmos matemáticos más simples, y producen archivos menores. Los de dos y media dimensiones necesitan procesadores más poderosos, pero proveen información de profundidad, muestran imágenes tridimensionales y generan vistas que aumentan la productividad. En ambos sistemas, sin embargo, los métodos generalmente replican los métodos manuales de diseño. Los sistemas de dibujo de tres dimensiones proveen la más alta productividad, calidad y ganancias en diseño, pero requieren computadores y memorias considerablemente más grandes. Si los productos son solo dibujos, un sistema de dos dimensiones bastará. Por otro lado, un sistema de dos dimensiones tendrá muy pocas posibilidades de expandirse a un sistema mayor.

Dos dimensiones (2D): Con pocas excepciones, la mayor parte de los sistemas CAD/CAM comenzaron implementando herramientas geométricas de dos dimensiones. Hoy en día se siguen usando, a pesar de no dar la mejor productividad, ni siquiera en dibujos de solo dos dimensiones. Un buen sistema de dos dimensiones debe poder dibujar a través de proyecciones, aceptar los formatos internacionales de dibujo, tener alta velocidad, tener librerías, aceptar los formatos internacionales de medidas, tener un buen set de estilos y portes de letras y ser escalable. El sistema puede basarse en vectores o en puntos en el espacio, siendo el primero el más indicado, pues debería ser ca-

paz de detallar despieces de modelos tridimensionales y tener una posibilidad para ampliarse a un sistema 3D.

Dos y media dimensiones (2-½D): Uno se podría preguntar: ¿Qué es media dimensión? En los sistemas CAD/CAM eso implica que el sistema maneja los datos de profundidad del modelo y ofrece normalmente la posibilidad de mostrar la apariencia tridimensional de él, usando técnicas bidimensiona-

les con representaciones ortográficas. Muchas veces, Los sistemas 2-1/2D están equipados para diseño y manufactura de productos simples o planchas, y son muy utilizados por compañías cuyos productos consisten en más de partes compradas que de partes manufacturadas, en que las interfaces, interacciones e interferencias entre partes están dadas más que por calcular. Sin embargo los sistemas 2-1/2D proveen limitadas mejoras en calidad y productividad por un costo ínfimamente superior a los sistemas 2D.

Tres dimensiones (3D): La modelación en tres dimensiones es la puerta de entrada a un ambiente CAD/CAM completo. A pesar de que los sistemas 3D no son necesariamente ocupados para todos los ambientes de diseño, ingeniería y manufactura, muchos de los sistemas tridimensionales de CAD/CAM pueden replicar las funciones de sistemas 2D y 2-1/2D si así se requiere. Los sistemas 3D pueden separarse en tres clases:

- *Wireframe (malla):* En el sistema *wireframe*, el modelo 3D es creado y guardado solo como una representación geométrica de aristas y puntos dentro del modelo. Los modelos 3D *wireframe* son transparentes en la realidad y por esta razón requieren un usuario de experiencia y gran conocimiento del modelo antes de entender claramente la representación. Una ventaja de los sistemas 3D es la generación automática de vistas y dibujos de una parte de los modelos. Esto ayuda en calidad, productividad, preparación y manufactura del producto. Sin embargo, el sistema *wireframe* requiere de un gran esfuerzo para desplegar imágenes limpias del modelo 3D completo.

- *Superficies:* La adición de información de las superficies al modelo 3D resulta en imágenes gráficas mejoradas cuando se traspasa a aplicaciones manufactureras como CNC. La modelación de superficie permite grados variables de precisión en el modelo CAD/CAM desde muy preciso, en el caso de superficies planeadas o regladas o superficies de revolución, a menores niveles de precisión en superficies esculpidas.

- *Sólidos:* La modelación por sólidos es el último método de modelación geométrica para el ambiente CAD/CAM. Un factor determinante para automatizar el diseño a través del proceso de manufactura, esta herramienta permite almacenar información precisa sobre piezas dadas. Los modelos sólidos pueden ser divididos en CSG (*Constructive Solid Geometry*) y BREP (*Boundary Representation*). CSG consiste en usar cajas primitivas, como cubos, cilindros, conos, toros, etcétera, sacándoles partes a ellas para crear una imagen sólida del modelo. Los sólidos BREP pueden ser almacenados de dos maneras: Con superficies verdaderas y topología del modelo o solo con superficies ordenadas, de tal manera que cuando necesite calcular algo lo haga, y no lo tenga

guardado de gusto como en el primer caso. En resumen, la modelación por sólidos es la mejor manera de lograr buenos resultados, tanto en análisis como en dibujo y velocidad, con la sola salvedad de que requiere computadoras potentes.

Un sistema 3D debería elegirse en la práctica por las siguientes razones:

1. Mejoras en calidad del producto y en tolerancias y alineamiento entre partes.
2. Reducción del tiempo de diseño y de potenciales problemas de manufactura.
3. Soporte de automatización mejorada para diseño, análisis, manufactura e inspección.
4. Soporte de 2D cuando se requiera, sin restringir futuros métodos o expansiones.

Una de las más importantes compensaciones que se obtienen de los sistemas CAD/CAM es en el área de chequeo, verificación de diseño y manufactura del producto. Hay distintas maneras de generar modelos de ensamblado en estos sistemas, los cuales son: modelos en modelos, componentes o figuras y ensamblados inteligentes. Todo va en el software y hardware del que se disponga.

La base de cualquier sistema CAD/CAM es la plataforma de software usada en generar y documentar el modelo de una parte o documento, y es el llamado corazón del sistema. El alma del sistema son las aplicaciones que se le pueden agregar. Es a través de aplicaciones que las verdaderas eficiencias del CAD/CAM en términos de ahorro en producción y costos relacionados con el proceso se pueden ver realizadas.

Las aplicaciones en el ambiente CAD/CAM pueden ser separadas en tres tipos principales: función, disciplina e industria. Algunas de ellas se pueden ver en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Aplicaciones en el ambiente CAD/CAM

Función	Disciplina	Industria
Diseño	Estructural	Aeroespacial
Análisis	Mecánica	Automotriz
Documentación	Eléctrica	Electrónica de consumo
Planeación de producción	Electrónica	Otros
Manufactura	Arquitectura	
Control de calidad	Civil	
Simulación	Otros	
Soporte logístico		

Fuente: Elaboración propia

Las funciones son normalmente aquellas operaciones, herramientas o acciones soportadas por la plataforma de software, tales como la geometría *wireframe* o la modelación de la superficie. Las disciplinas son creadas con la adición de software especializado de aplicación, librerías, interfaces de usuario y herramientas sobre las funciones básicas con el fin de crear diagramas esquemáticos de aplicaciones de *wireframes*, o aplicaciones de estilo de software de modelación de superficie. Las aplicaciones industriales son creadas con el software específico para disciplinas o industrias, y la adición de librerías y herramientas especiales para cada proceso en particular.

La creación y documentación básica de los modelos CAD/CAM es parte de la plataforma de software, mientras que las aplicaciones son las herramientas usadas para automatizar completamente el proceso de diseño. Una breve lista de aplicaciones puede verse en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Aplicaciones CAD/CAM

Mecánica	Diseño eléctrico / electrónico	Arquitectura / Civil	Diseño de componentes electrónicos
Eslabones y mecanismos	Diagramas de cableado	Diseño con acero	Tableros de circuitos impresos
Engranajes y poleas	Diseño lógico y esquemático	Diseño de construcción	
Hidráulica y neumática	Cableado y encaminado	Tubos, diseño de plantas	Diseño LSI y VLSI
Planchas de metal	Diseño de arneses para cables	Topografía	
Diseño de moldes	Sistemas de iluminación	Creación de mapas	Diseño híbrido
Diseño de fundición	Distribución de potencia	Diseño de concretos	Diseño guiado por ondas
Superficies y estilo	Diseño para montar y acercar	Planeación de espacio	

Fuente: Elaboración propia

El análisis ingenieril puede ser dividido en varias áreas, sin embargo, una clasificación más general es:

- Soluciones cerradas: hechas con ecuaciones particulares para ese tipo de problemas

- Análisis lógico y de simulación: Análisis computacional para comprobar ajuste a la forma y a la función
- Elementos finitos y análisis de diferencias finitas: Análisis computacional para sistemas particulares: Análisis estructural, mecánico y térmico
- Análisis cinemático: Virtualmente se puede observar la operación de un componente

Aquí entra el concepto de ingeniería asistida por computador, CAE (*Computer Aided Engineering*). El CAE o ingeniería asistida por computador, es la tecnología que analiza un diseño y simula su operación (Analizando y prediciendo características mecánicas, térmicas, y de fatiga, tanto como flujo de fluidos, transferencia de calor, ruido, vibración y dureza) para determinar su comportamiento de acuerdo a las especificaciones de diseño y sus capacidades. Hoy en día, CAE es casi dos tecnologías separadas: una es la aplicada a la mecánica y otra a la electrónica. Ambas realizan extensos análisis respecto de las leyes físicas, así como de los estándares de la industria. El CAE mecánico, en particular, incluye un análisis por elementos finitos (FEA, *finite element analysis*) para evaluar las características estructurales de una parte y programas avanzados de cinemática para estudiar los complejos movimientos de algunos mecanismos. El CAE electrónico, asimismo, permite verificar los diseños antes de fabricarlos, simular su uso y otros análisis técnicos para evitar perder tiempo y dinero.

Como en el caso de las aplicaciones para diseño, el número de aplicaciones para manufactura está creciendo rápidamente. Al dirigir aplicaciones de manufactura, el proceso se puede dividir en dos categorías: generación y uso. Lo más importante es la generación de datos, y su transmisión está en manos de la correcta implementación del CAM. El CAM en el sistema CAD/CAM implica que el diseño y la manufactura están estrechamente ligados. La idea es que el CAM utilice los datos generados por el CAD adecuadamente.

El rango y la profundidad de las aplicaciones CAM varían hoy grandemente. Ellas abarcan desde herramientas altamente automatizadas, que son predominantemente manejadas a través de gráficos, hasta herramientas basadas en lenguajes como APT, y otros lenguajes para manejar la máquina. Los productos más avanzados permiten el uso e integración de ambos métodos (gráfico y lenguaje) en aplicaciones concurrentes para maximizar la productividad del usuario. Una lista parcial de aplicaciones actuales de manufactura con CAD/CAM son es la siguiente: oxicorte, taladrado, perforado, compresión, maquinado, soldado, colocación y ensamble de piezas, diseño de herramientas, diseño de moldes, doblado de cañerías y tubos, extrusión, estampado y embutido, programación de robots, impresión de tableros de circuitos y recubrimiento de cables.

Métodos de implementación y uso

El método y la calidad de la implementación del CAD/CAM en varios ambientes de la industria es un factor crítico en el uso exitoso de la tecnología. Asimismo, CAD/CAM y las tecnologías de automatización son críticas para el éxito de las corporaciones en la tan competitiva economía mundial de hoy en día.

Discutiendo la implementación y el uso de CAD/CAM, una premisa importante debe ser considerada. Los mayores beneficios que se puedan obtener de la tecnología CAD/CAM serán derivados de mejoras en el proceso de producción como un todo, desde el concepto a la producción, distribución y soporte. Una reducción en el tiempo de salida al mercado y una mejor calidad del producto son importantes para el cliente y, por tanto, para la empresa. Todos los aspectos del proceso CAD/CAM parten de la concepción básica del producto. Mientras antes se ingrese información al sistema sobre el diseño y la manufactura, más efectivo será el ciclo en general. Algunos factores importantes al implementar el sistema son los siguientes:

- El diseño inicial es lo más importante, por lo que hay que invertir arduamente en él.
- Desarrollar bibliotecas de partes para componentes estándar.
- Codificar cada pieza para que sea fácil de encontrar.
- Usar estándares y normas.
- No dejar que las decisiones CAD/CAM de hoy afecten la planeación futura e implementación de nuevas tecnologías.
- Recordar que la modelación de sólidos usada para diseñar partes con un número mínimo de operaciones llevará probablemente a una pieza más barata debido a procesos de manufactura reducidos.
- Recordar que programas simples pueden usarse en sistemas CAD/CAM de alto nivel, pero no viceversa.

Los ingenieros industriales y manufactureros que planean los procesos tienen grandes probabilidades de hacer mejoras en la producción CAD/CAM futura. El nivel de inteligencia de los productos de aplicación y de las bases de datos ha alcanzado un punto donde los datos y procesos de manufactura son directamente agregados al proceso de diseño. Sin embargo, un punto importante en este proceso es el conocimiento que tenga la empresa de sus propias capacidades, pues mientras los sistemas automatizados son capaces de extraer información directamente de las bases de datos, las reglas para los procesos locales deben ser desarrolladas basándose en las herramientas que posee la empresa y su capacidad.

CAPP (Planificación de procesos asistida por computadora)

AWF: El CAPP es la designación de la informatización aplicada a la preparación de los planes y procesos de trabajo. Se trata de una planificación basada en los trabajos de diseño convencionales o establecidos mediante CAD, para obtener datos relativos a las instrucciones de fabricación de piezas y montaje.

El CAPP comprende la planificación asistida por computadora de procesos y secuencias de trabajo, la elección de procedimientos y medios de producción para la fabricación de los objetos, así como la obtención asistida por ordenador de datos para el control de los medios de producción del CAM. Los resultados del CAPP son los procesos de trabajo y las informaciones de control para los medios de producción CAM. Funciones del CAPP:

- Planificación del trabajo.
- Administración de los procesos de trabajo.
- Planificación del montaje.
- Planificación de la verificación.
- Establecimiento de recetas
- Planificación de los medios de producción.
- Simulación de procesos de fabricación y montaje.
- Normalización y control de normas.

Estos cometidos pueden subdividirse en cometidos de planificación a corto y a largo plazo. Entre los de corto plazo se encuentran la preparación de la documentación relativa al producto y necesaria para la fabricación y el montaje. Los cometidos de planificación a largo plazo se refieren a la búsqueda de condiciones de producción adecuadas para futuros productos. En el proceso de trabajo se describen las operaciones de trabajo, su secuencia y los sistemas de trabajo necesarios para llevar a cabo este cometido paso a paso. Se trata entre otras cosas del material utilizado, así como del puesto de trabajo correspondiente a cada operación, los medios de producción, los tiempos concedidos (tiempos planificados) y el grupo de salarios (REFA).

CAM (Manufactura asistida por computadora)

AWF: Se denomina CAM al control y supervisión técnica, asistidos por computadora, de los medios de producción empleados en la fabricación de los objetos. Esto se refiere al control directo de las instalaciones técnicas de proceso, medios de producción, equipos de manipulación y sistemas de transporte y almacén.

El modelo de datos CAD generado durante el proceso de diseño puede ser utilizado además por el proceso de Manufactura Asistida por Computadora. Un buen sistema CAD/CAM elimina las necesidades de calcular manualmente tangentes ó realizar la trigonometría requerida para calcular las trayectorias de herramientas, salvando un tiempo de programación valioso. También provee un final consistente y resultados predecibles.

Para los negocios de producción mecanizada, la eficiencia de trayectoria de herramienta se vuelve otra consideración importante. Si la misma parte es corrida cientos o miles de veces, cualquier movimiento gastado en la trayectoria de herramienta puede ser costoso. Uno de los desarrollos recientes en CAM es la introducción del Mecanizado basado en el Conocimiento (*Knowledge-based Machining*). El Mecanizado Basado en el conocimiento simplemente automatiza operaciones repetitivas para reducir drásticamente el tiempo de programación de partes cuando un negocio se encuentra mecanizando un número del mismo rasgo de una parte de una tarea a otra. Un sistema de mecanizado basado en el conocimiento captura el conocimiento experto del usuario sobre ciertas operaciones, almacenándolas en una base de datos y haciendo el tedioso reingreso de la información una cosa del pasado. Este aspecto del software es especialmente de ayuda para negocios de tamaño pequeño y mediano que no hacen mucho mecanizado complejo de tres dimensiones pero por el contrario se enfocan largamente en el perforado y el molido de 2 1/2 de pivote. Las estadísticas industriales indican que el perforado constituye más del 70% de las operaciones de un negocio de máquinas, mientras que el molido plano hace otro 22%.

El ámbito del CAM se encuentra en el ámbito operativo y logístico de producción de una empresa. Abarca todos los cometidos que pueden describirse utilizando los conceptos de fabricación, flujo de materiales y conservación, lo que incluye la automatización de todos los campos próximos a la producción desde la entrada de mercancías, almacén, fabricación de piezas y montaje hasta las secciones de verificación y expedición. El ámbito del CAM puede subdividirse en cuatro niveles. Los tres niveles superiores son: nivel de dirección de producción (funciones logísticas), nivel de dirección de procesos (funciones operativas) y nivel de control de proceso. El cuarto nivel, el de proceso, es el nivel de interfaz entre la electrónica y la mecánica. Está formado por actuadores (motores, contactos magnéticos, etcétera) y sensores.

CAQ (Garantía de calidad asistida por computadora)

AWF: “Se denomina CAQ a la planificación y realización de la garantía de calidad asistida por computadora. Esto comprende, por una parte, la preparación de procesos de verificación, programas de ensayo y valores de control y, por otra la realización de sistemas de medición y ensayos asistidos por orde-

nador. Para todo esto el CAQ puede servirse de los medios técnicos auxiliares informáticos CAD, CAPP, CAM.”

Funciones:

- Planeación de la calidad.
- Control y supervisión de la calidad.
- Verificación de la calidad.
- Documentación, Estadística.

El sistema de calidad abarca todas las medidas necesarias para asegurar la calidad del producto y mantenerla siempre al mismo nivel. Además, es necesario que en los sistemas de producción, cada vez más complejos, se capten inmediatamente todas las magnitudes perturbadoras y se inicien las medidas adecuadas para asegurar la calidad del producto. Además de la identificación de los defectos es preciso tomar las medidas correspondientes para la prevención de los defectos.

La garantía de calidad no significa solamente comprobar la calidad, sino también planificarla y dirigirla. La planificación de la calidad consiste en la planificación y determinación de las características de calidad, así como de los procedimientos y medios de verificación. Además de la planificación de la calidad interna, que comprende las posibilidades de ejecución en sus aspectos técnicos, de proceso y económico, existe también la planificación de calidad externa, en la que deben tenerse en cuenta las exigencias de calidad de los clientes. La planificación de la calidad no debe confundirse con la planificación de la verificación, ya que se trata de una función autónoma, anterior a la planificación de la verificación.

El CAQ abarca aquellas funciones del sistema de calidad que pueden realizarse con asistencia del ordenador. Por eso se utilizan en todo el proceso de creación del producto, desde su desarrollo hasta la expedición. El objetivo de la garantía de calidad consiste en deducir lo antes posible las medidas necesarias para asegurar la calidad de producto exigida, a partir de la observación de los procesos de producción y sus resultados, en el sentido de un reacoplamiento. En el caso ideal se obtiene una supervisión continua de los procesos y un control en curso que permite compensar inmediatamente cualquier desviación que surja. Ahora bien, las condiciones del entorno del proceso de producción a veces no permiten efectuar mediciones directas durante el proceso, por lo que es necesario obtener los datos de forma indirecta.

4.6 Bibliografía

- Mathaisel, B. F. (1993). "Managing IS across borders", *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.
- Balle, M. (1995). *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London. Querying
- Shuguang, L. and Rongqiu, C. Understanding and implementing CIM through BPR. *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.
- Cross, L. Managers seek the profit in CIM. *Graphic Arts Monthly/gammang.com*, June 2004, pp. 51-54.
- Anjard, R. P. Computer integrated manufacturing: a dream becoming a reality. *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 95 No. 1, 1995, pp. 3-4.

Parte II

Capítulo 5

**Integración total de empresas de
manufactura**

5.1 Introducción

Sin importar cuán eficientes sean las operaciones de manufactura, ensamblaje y movimiento de materiales, mientras no exista una buena coordinación y planificación no existirá real eficiencia. La tecnología CIM que mejora la administración de la manufactura son los sistemas MRP II (*Manufacturing Resource Planning*) o planeación de insumos de manufactura y, más recientemente, el JIT (*Just in Time*) o justo a tiempo.

El MRP II ha sido llamado el sistema nervioso central de la empresa manufacturera. Contenidos en estos sistemas se encuentran los módulos de software que planean y organizan las operaciones de manufactura, permiten explorar mejores alternativas para la producción y los insumos, monitorean si las operaciones se ajustan al plan previo y permiten proyectar resultados -incluso financieros-. Se dice que ninguno de los sistemas actualmente instalados de CIM que tenga el MRP II lo usa a cabalidad, puesto que su capacidad de manejar información es demasiado elevada. La importancia de estos sistemas es obvia; a través de los datos ellos generan, recolectan y administran, estableciendo y manteniendo contactos con todas las locaciones y oficinas en la empresa.

La producción JIT, relacionada con la anterior, ha hecho que muchas compañías replanteen su estrategia de producción, debido a los grandes beneficios obtenidos tras su implementación. Una de las máximas del JIT es la de producir lo que y cuando se necesita, para eso reduce inventarios, particularmente inventarios de productos a medio terminar, y con ello costos de inventario. Partes compradas o materias primas son mandadas directamente a la línea de producción, varias veces al día si es necesario. Esta filosofía convierte el inventario en productos tan pronto como sea posible, y así echa por tierra la filosofía de mantener un buen inventario de partes de recambio “en caso de que se ocupen”. Sin embargo, para que este sistema tenga éxito debe existir una estrecha relación con los proveedores, además éstos deben entregar un producto de calidad porque el JIT no permite perder tiempo en revisar las partes entrantes. Si los proveedores poseen una tecnología similar se evitan una serie de burocracias al hacer pedidos, pues las órdenes van de computador a computador. Si este sistema es bien aplicado, el JIT puede significar reducciones de hasta un 75% en el inventario y lograr así mejoras equivalentes en la calidad del producto.

5.2 Tecnologías

Anteriormente se ha tratado de describir el concepto CIM y sus ámbitos funcionales de aplicación que claman la integración total de la empresa. Ahora se discutirán los avances tecnológicos que están permitiendo que la integración sea realizada. Esta tecnología se centra en la computación y las telecomunicaciones, y busca la integración de todas las actividades del negocio.

La tecnología computacional integra todas las otras tecnologías CIM. La tecnología computacional incluye todo el rango de hardware y de software ocupado en el ambiente CIM, incluyendo lo necesario para las telecomunicaciones. Existe una jerarquía de control en los ambientes manufactureros, donde hay 5 niveles principales que se detallan a continuación:

1. Control de máquinas (PLCs)
2. Control de celdas
3. Computador de área
4. Computador de planta
5. Computador corporativo

El nivel más bajo (1) consiste en productos basados en microprocesadores que controlan directamente las máquinas. En el segundo nivel, varias máquinas trabajan en conjunto, y aunque cada una de ellas trabaja con su propio control, existe un computador central que las maneja. El tercer nivel monitorea operaciones de un área de la planta, por ejemplo, una línea de ensamblado o una línea de soldadura robotizada. El computador de planta sirve más para funciones administrativas, puesto que a pesar de que la planeación debe hacerse a distintos niveles, siempre existe alguien que los autoriza y divide las labores en la planta. Finalmente, y al tope de la jerarquía de control, encontramos el computador corporativo, dentro del cual reside la base de datos y los programas financieros y administrativos de la empresa. Una de las más importantes funciones de este computador es organizar la base de datos, de tal manera que pueda ser fácilmente manejada y guardada.

La comunicación entre los sistemas es vital en un ambiente moderno de manufactura. Una jerarquía de computadoras que se comunican entre ellas implica al menos una estandarización en los protocolos de comunicación. Es así como existen los protocolos MAP y TOP (*Manufacturing Automation Protocol* y *Technical and Office Protocol*), los cuales permiten fluidez en la integración de los departamentos. Los protocolos son reglas que gobiernan la interacción entre entidades comunicadas, y deben proveer una serie de servicios:

- Permitir la transmisión de datos entre programas o procesos en la red interna
- Tener mecanismos de control entre hardware y software
- Aislar a los programadores del resto, cuando éstos lo necesitan
- Ser modular, de tal manera que elegir entre protocolos alternativos tenga el mínimo impacto
- Permitir comunicación con otras redes

Al ser creado, el MAP especificó un protocolo funcional de red para la fábrica misma; en cambio, el TOP lo especifica para el procesamiento de información en ambientes técnicos y de negocios. Sin embargo, ambos protocolos cumplen funciones similares y están normalizados por la ISO en conformidad a la referencia de las “siete capas”.

La implementación de un sistema CIM debe verse por el valor de ella como una herramienta estratégica y no como una mera inversión de capital. Para aquellas compañías que eligen CIM, los beneficios son reales, y pueden significar la diferencia entre el éxito y el fracaso. Para las empresas que estén evaluando la implementación de CIM, existe una lista de opciones que deberían tener claras:

- Constatar la estrategia y los fines del negocio
- Comprometerse con la integración total, no solo buscar la excelencia en puntos aislados o convenientes
- Estudiar la compatibilidad entre los sistemas existentes
- Comprometerse a manejar toda la información de manera digital
- Estar de acuerdo con las normas y estándares existentes
- Tener aptitud para aprender del nuevo hardware y software
- Tener aptitud para aprender de la experiencia de otras compañías
- Conocer de las tecnologías JIT y de grupo
- Ajustar los departamentos y las funciones de cada uno para manejar una organización en red
- Usar fuentes externas (Universidades, asociaciones profesionales y consultores)
- Identificar potenciales beneficios

5.3 Sistemas ERP

La información es un elemento crucial para el desempeño de los negocios, al proveer las bases para tomar decisiones. Las Tecnologías de Información (TI) consisten en una serie de hardware y software que permiten en la captura, manejo y análisis de la información para tomar las mejores decisiones, con lo que se crea un impacto significativo en el desempeño de los negocios (Chopra y Meindl, 2001).

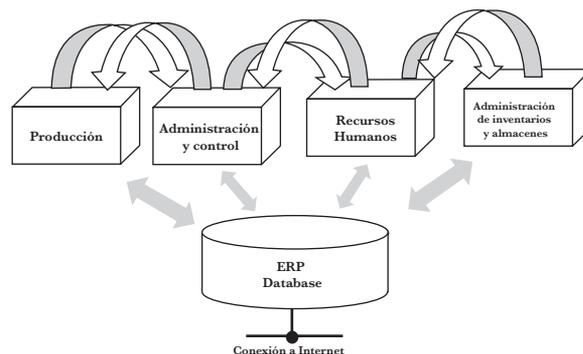
Los sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) son sistemas de TI que permiten la captura y almacenamiento de la información a través de todas las funciones de la compañía, monitoreando materiales, órdenes, programas, inventarios y demás información a través de toda la organización. Según Al-Mashari (2002) los sistemas ERP son uno de los desarrollos más novedosos de las TI de los años 90's, originados como respuesta al creciente interés de las muchas organizaciones de mover sus procesos funcionales a procesos basados en la infraestructura de las TI.

Distando un poco de su contexto estructural Siriginidi (2000) ofrece una definición funcional de los sistemas ERP definiéndolo como una integrada colec-

ción de aplicaciones de software modular que proveen información operacional, administrativa y estratégica a la empresa para mejorar su productividad, calidad y competitividad, balanceando sus recursos para permanecer competitivas en una economía globalizada. Bajo el mismo contexto, pero sintetizando sus ideas, Huang and Palvia (2001) se refieren a los sistemas ERP como un término industrial usado para referirse a la amplia serie de actividades soportadas por un software de aplicación multi-modular que ayuda a las organizaciones manufactureras o de servicios a administrar las partes importantes de sus negocios. Por su parte Payne (2003) indica que un sistema ERP combina los procesos de negocio en la organización y sus TI en una solución totalmente integrada.

Al igual que el conjunto de investigadores intentan ofrecer una definición suficientemente explícita de lo que es y hace un sistema ERP, existen en el Internet páginas electrónicas que ofrecen servicios y definiciones para entender de forma estructurada el concepto. Tal es el caso de Webopedia, un diccionario gratuito en línea de palabras, frases y abreviaciones relacionadas a las TI e Internet, que provee una definición sencilla de ERP; describiéndola como un sistema de administración de negocios que integra todas las facetas del negocio, incluyendo planeación, manufactura, ventas y mercadotecnia. Resumiendo, un sistema ERP es un enfoque que provee un soporte de negocios que facilita a las compañías combinar los sistemas computacionales de las diferentes áreas de negocios - producción, ventas, mercadotecnia, finanzas, recursos humanos, etcétera - y correrlas en una simple base de datos. Por lo que un sistema ERP está diseñado para lograr una mayor competitividad, aumentando la habilidad de las organizaciones para generar información a tiempo y actualizada a través de la empresa y su cadena de suministro. La Figura 5.1 muestra esquemáticamente la arquitectura integral de un sistema ERP.

Figura 5.1. Arquitectura Integral de un Sistema ERP



Fuente: PhD Student Mini-Conference 2003

Lo anterior demuestra que conforme los sistemas ERP se han vuelto más populares, han extendido sus módulos de aplicación para cubrir diferentes funciones de negocios. El conjunto de dichos módulos son ligados conjuntamente para que los usuarios de cada función puedan ver lo que sucede en las otras funciones de la compañía. Cada módulo en un sistema ERP puede ser instalado independientemente o con una combinación con otros módulos. Algunos de los módulos más comunes son:

- 1. Finanzas.** Módulo que permite dar un seguimiento a la información financiera tal como ganancias y costos dentro de la compañía.
- 2. Logística.** Módulo que cubre diferentes funciones logísticas como transportación, administración de inventarios, y administración de almacenes.
- 3. Manufactura.** Módulo que permite dar un seguimiento al flujo de productos a través del proceso de manufactura.
- 4. Cumplimiento de Órdenes.** Módulo que permite monitorear en su totalidad el ciclo de cumplimiento de órdenes, dando un seguimiento al progreso de la compañía para satisfacer la demanda.
- 5. Recursos Humanos.** Módulo que maneja toda clase de tareas de recursos humanos tales como su capacitación y reclutamiento.
- 6. Administración de Proveedores.** Módulo que permite monitorear el desempeño de los proveedores y dar un seguimiento a la entrega de sus productos.

La lista anteriormente descrita menciona algunos de los módulos principales que conforman los sistemas ERP, sin embargo, la conformación de los módulos puede más específica para cubrir el conjunto de los procesos de negocios de la compañía. Adicionalmente, la conformación de los módulos se ve afectada por el proveedor del sistema ERP. En la actualidad, en el mercado existen cuatro proveedores mayores de sistemas ERP:

- 1. SAP.** Tiene sus raíces en la creación de software para ambientes de manufactura, claramente representa el mayor proveedor de sistemas ERP captando el 30% del mercado compartido¹.
- 2. Oracle.** Creando software de bases de datos, comenzó con la creación de sistemas ERP. Actualmente es el segundo mayor proveedor de sistemas ERP.²
- 3. Peoplesoft / J.D. Edwards.** Mientras que SAP comenzó con aplicaciones de manufactura y Oracle con aplicaciones financieras, Peoplesoft comenzó

¹ Para mayor información del sistema SAP se recomienda visitar su sitio web en: www.sap.com

² Para mayor información sobre los servicios y productos de Oracle acceder a: www.oracle.com

con aplicaciones de recursos humanos. Recientemente se realizó una fusión empresarial entre ambas compañías³.

4. Baan. Al igual que J.D. Edwards, comenzó con una vista integrada de las funciones de negocios y no con funciones específicas, como los proveedores líderes. Baan se enfoca a compañías de tamaño mediano. Para mejorar su capacidad analítica, recientemente adquirió CAPS Logistics⁴.

Un sistema ERP reduce grandemente el margen de error creado cuando la información es introducida por diferentes empleados en diferentes bases de datos, además estandariza el proceso de manufactura, la información de recursos humanos e integra los datos financieros de ventas y contabilidad. Los sistemas ERP se han convertido en una de las mayores inversiones en TI. Una investigación realizada en 1998 señaló que la inversión en ERP se incrementaría de 21.02 billones de USD en ese mismo año a 72.63 billones de USD en 2002, lo cual representó un crecimiento promedio anual de 12.90 billones de USD (Umble and Umble, 2000). Un sistema ERP ofrece grandes ventajas que hacen atractiva su inversión. Dichas ventajas incluyen aspectos estratégicos, tácticos y operacionales, incluidos los aspectos tecnológicos. Entre las más notorias se encuentran:

- Reducción de costos.
- Reducción de tiempo de ciclo.
- Mejora de la productividad.
- Empowerment.
- Construcción y fortalecimiento de una visión común, etcétera.

Pese a los grandes beneficios que ofrecen los sistemas ERP, en ocasiones estos fallan, en una investigación realizada por Umble and Umble (2002) las siguientes razones de falla fueron encontradas: a) una escasa planeación o pobre administración; b) cambio en las metas del negocio durante el proyecto y; c) falta de soporte administrativo. El nuevo concepto en los sistemas ERP es que partiendo de tener exitosamente integradas las aplicaciones internas de negocios tales como finanzas, ventas y mercadotecnia para incrementar la eficiencia y crear una vista total del negocio, los sistemas ERP pueden ahora ser usados para integrar aplicaciones externas con arreglos de comercio colaborativo, E-business y la cadena de suministro (Payne, 2002).

³ Para mayor información sobre la fusión, productos y servicios de Peoplesoft/J.D. Edwards se recomienda visitar www.peoplesoft.com

⁴ Baan puede ser contactado mediante su sitio web en www.baan.com

Lo anterior permite concluir que los sistemas ERP se han convertido en una de las herramientas más efectivas para el logro de altos estándares de eficiencia, proveyendo a la empresa de una visión integral de los procesos para una mejor toma de decisiones. La exitosa implementación de un sistema ERP requiere de una metodología estructurada a su estrategia; por lo que la adopción de un sistema ERP en una organización requiere esfuerzos intensos enfocados tanto en aspectos tecnológicos, humanos como de negocios.

5.4 Integración

El mercado del siglo veintiuno estará caracterizado por una gran variedad y una relativamente baja demanda para los productos individuales. Será necesaria una integración total de la empresa para coordinar el gran número de actividades y la información necesaria para la producción en masa. La idea en una integración total de la empresa es integrar personas, tecnología, procesos de negocio, clientes, y proveedores ubicados en lugares geográficamente dispersos. Esta integración es necesaria para lograr los objetivos de la empresa. Para la integración son necesarias, las redes de comunicaciones, los sistemas de administración de bases de datos, y el *groupware*.

CIM e Integración Total de la Empresa

El objetivo de CIM es la integración de todas las operaciones y actividades de la empresa alrededor de una base de datos corporativa. Tradicionalmente, el concepto de las actividades CIM ha sido confinado a las operaciones de fabricación. Sin embargo, la producción en masa necesita mucho más que la manufactura integrada. Requiere la formación de organizaciones virtuales para afrontar proyectos nuevos en el mercado. El éxito de las organizaciones está fundamentado en la motivación de las personas dentro de la empresa con la ayuda de la tecnología de computadoras incluyendo redes de comunicación, sistemas de administración de bases de datos, y “groupware”. Esto agiliza a los miembros del equipo de la organización mientras interactúan con clientes y proveedores y realizan decisiones efectivas y más rápidas. Dicha integración pone la base para la integración total de la empresa, abarcando varias plantas y oficinas de una empresa, posiblemente ubicadas en diferentes países y ciudades, al igual que los clientes y proveedores a lo largo del mundo. En consecuencia, la integración total de la empresa es mucho más que la integración automatizada de la fábrica, que comúnmente es el objetivo de CIM.

La integración total de la empresa es requerida para asegurar que todas las unidades técnicas y administrativas puedan trabajar conjuntamente. Esto, sin embargo, requiere una gran cantidad de información sobre todas las actividades, desde la concepción del producto hasta la fabricación, distribución al cliente, y soporte

en campo. Todos estos pasos del ciclo de vida requieren un gran volumen de datos. Además, muchas estas actividades de diseño, fabricación, distribución y reparación, responsables de generar y usar volúmenes de datos, están esparcidas en un ancho espectro de ubicaciones físicas. Los datos son almacenados usando un conjunto diverso de herramientas de software en un hardware heterogéneo. A menudo, son usados medios de almacenamiento incompatibles con estructuras de datos y formatos diferentes para almacenar datos. Esto es debido a las peculiaridades de las herramientas y sistemas que generan datos sin ninguna consideración de las necesidades de las herramientas o sistemas que podrían eventualmente usar los datos.

Redes de comunicación

Una red de comunicación es la columna vertebral de la integración de la empresa. Las redes ayudan a unificar una compañía vinculando a todos los dispositivos computarizados independiente de su ubicación física. A través de las redes podemos integrar a toda la empresa, incluyendo clientes y proveedores. Por ejemplo, ventas y marketing pueden enviar los requerimientos del cliente para nuevos productos a ingeniería de diseño. Un diseño asistido por computadora (CAD) que genera especificaciones de materiales puede transferirlos a los sistemas de planeación de requerimientos de materiales. La información del diseño de productos puede ser transmitida a fabricación para ser usado en el planeamiento de procesos. Los operadores pueden acceder directamente a estos planes de procesos lo mismo que los documentos de operación de máquina e instrucciones de inspección cuando sean necesarios en el piso de la planta. En este proceso, toda clase de datos son transferidos entre una variedad de sistemas de computadoras. Para que una empresa tenga éxito, es necesario tener listo el acceso a la información (datos) a lo largo de la compañía. Esto facilita respuestas interdepartamentales rápidas para cambiar programaciones de diseño y de producción que atiende las necesidades de los clientes. Para proveer estas facilidades, se necesitan redes empresariales bien desarrolladas. Una organización puede ser representada en una jerarquía de comunicación que incluye un nivel de empresa, un nivel de planta, un nivel de celda, y un nivel de equipo/dispositivo. Esta comunicación necesita de estos niveles diferentes, y por lo tanto sus requerimientos de red en términos de dispositivos de comunicación, distancia, medio físico de transmisión, ancho de banda, funciones de protocolos serán también diferentes. Para unificar la empresa, son requeridas tres tipos de tecnologías de red para interconectar cada nivel:

- Subredes de nivel de dispositivo en el piso de la planta que conecta dispositivos individuales como robots y máquinas de control numérico (NC).
- Redes en toda la planta que conectan celdas y otros departamentos

- Redes en toda la empresa que pueden enlazar globalmente varias plantas o sitios e interconectar corporaciones a través de un intercambio electrónico de datos (EDI).

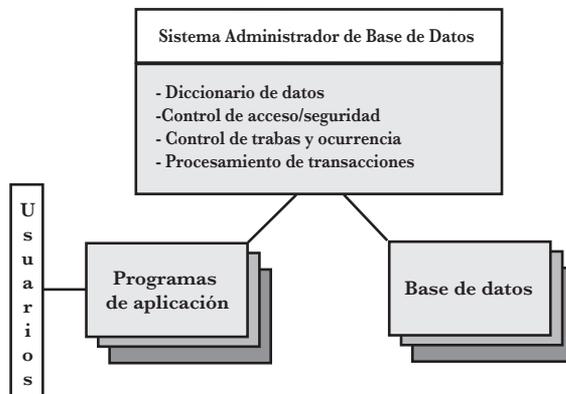
5.5 Sistemas de administración de bases de datos

Una gran cantidad de información (contenida en bases de datos) es requerida para completar cualquier tarea. Por ejemplo, consideremos el caso de fabricar un simple eje. Para esto se requieren datos de diseño como el material, diámetro, longitud, rugosidad de superficie, y tolerancia. También necesitamos datos de fabricación, como qué herramientas y condiciones de mecanizado usar para obtener las dimensiones de diseño deseadas en el mínimo costo de fabricación posible y la máxima calidad. Supongamos que el eje va a ser ensamblado en un producto que consiste de varios ítems. Entonces necesitamos información de diseño y fabricación en los otros ítems para que el eje encaje en el producto final de manera de encontrar sus requerimientos funcionales. Necesitamos datos sobre cuántos de estos productos fabricar, cuánto inventario tenemos, cuánto deberíamos tener, información de capacidad de las máquinas, información de ruteo de una máquina a otra, y demás. Se pueden listar cientos de tipos de datos que podrían requerirse para diseñar, fabricar, distribuir, y reparar tal producto o familia de productos.

Frecuentemente, una aplicación debe acceder a los datos de diferentes bases de datos. Por ejemplo, los datos sobre el peso del eje desde la base de datos de diseño y los datos sobre la rugosidad de la superficie y la tolerancia de la base de datos de fabricación son requeridos para empaquetar el eje para ser enviado. En situaciones de diseño y fabricación reales, una gran cantidad de datos son generados y manipulados usando diversos programas de computadoras. Además, los datos están frecuentemente ubicados en sistemas de computadoras que residen en diferentes lugares geográficos. Desde el punto de vista del costo, tiempo y calidad, necesitamos que el dato correcto sea accesible rápidamente para muchos usuarios para que se puedan hacer las decisiones correctas de diseño, fabricación, distribución, y reparación. Dadas estas complejidades, lo que necesitamos es un sistema que nos ayude a controlar y manipular los datos para satisfacer nuestras necesidades. Un sistema administrador de bases de datos (DBMS, Data Base Management System) es un paquete que ayuda a los usuarios a controlar el acceso a la base de datos y manipular los datos.

Una arquitectura de un sistema administrador de bases de datos se muestra en la Figura 5.2. Un diccionario de base de datos se usa para almacenar las vistas de los datos, sus relaciones, formatos, y restricciones de seguridad. Se usan *logs* para mantener un registro de las transacciones y actividades. Para múltiples usuarios, trabar las tablas permite el acceso concurrente sincrónico a la base de datos.

Figura 5.2. Sistema administrador de base de datos



Fuente: Elaboración propia

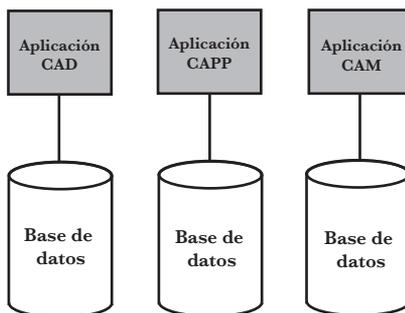
Vínculos de base de datos

Se pueden distinguir diferentes niveles de la integración de la base de datos en el modo en que la información es accedida entre diferentes aplicaciones:

- Nivel 0: Aislamiento
- Nivel 1: Conversores
- Nivel 2: Formato de archivo neutral
- Nivel 3: Una base de datos centralizada
- Nivel 4: Integración de componentes aislados

Nivel 0: Aislamiento. En este caso, los diversos módulos de aplicación manejan su información independientemente en una base de datos (DB) hecha a la medida (tailored systems) ó sistemas de archivos (FS) como se muestra en la Figura 5.3.

Figura 5.3. Aislamiento en bases de datos

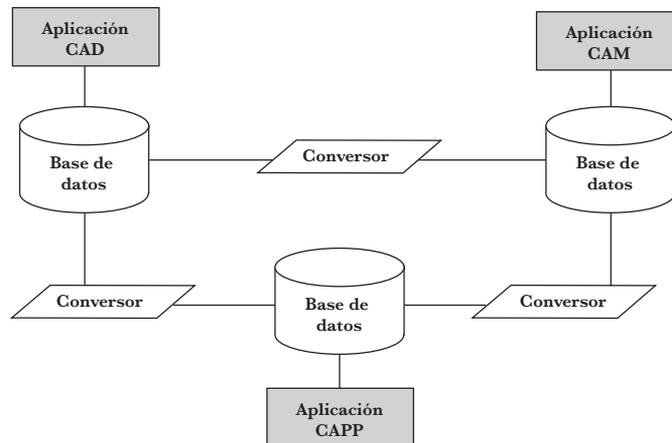


Fuente: Elaboración propia

La información es intercambiada entre módulos a través de interacción humana. Esto es análogo a la situación en la que los datos CAD son interpretados manualmente para el desarrollo de planes de procesos y demás.

Nivel 1: Conversores. En esta arquitectura, la interface de los diferentes módulos es lograda con programas conversores. Estos programas son muy usados cuando ambas aplicaciones tienen estructuras de datos diferentes o corren a horarios diferentes en computadoras diferentes. Por ejemplo, consideremos la interfaz de dos programas de aplicación, A1 y A2, que representan CAD y planeación de procesos asistida por computadora (CAPP) como se muestra en la Figura 5.4. Un programa conversor adapta la estructura de datos de la aplicación A1 a la que usa la aplicación A2.

Figura 5.4. Conversores en bases de datos

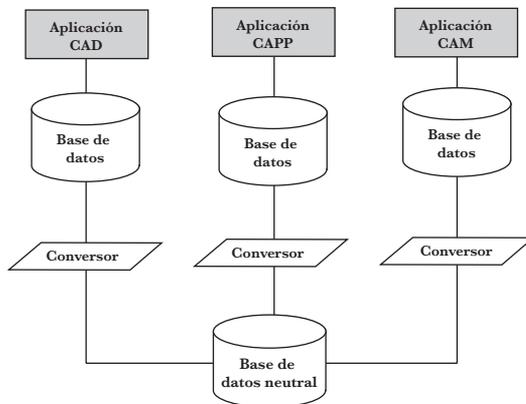


Fuente: Elaboración propia

El número de programas conversores necesarios para soportar N aplicaciones independientes es $N(N-1)$, ya que se requieren dos programas conversores para intercambiar información entre dos aplicaciones A1 y A2 (uno para convertir de A1 a A2 y otro de A2 a A1).

Nivel 2: Formato de archivo neutral. Esta arquitectura está basada en el uso de una base de datos ó sistema de archivos neutral que es compartida por todas las aplicaciones como se muestra en la Figura 5.5. Esto permite una estructura en estrella, por lo que el número de conversores para N módulos se reduce a $2N$, comparado con el $N(N-1)$ en la integración de nivel 1. Esta estructura no cambia la estructura de datos de los módulos de aplicación. De hecho, todos los módulos retienen sus estructuras de datos para el procesamiento y almacenamiento local.

Figura 5.5. Formato de archivo neutral

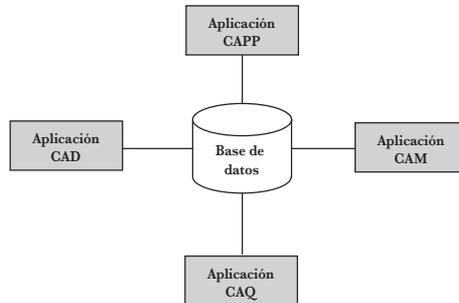


Fuente: Elaboración propia

Nivel 3: Una base de datos centralizada. La idea es tener una base de datos común con la que todos los módulos de aplicación interfacean, como en la Figura 5.6. A pesar de que la base de datos común parece estar centralizada, la centralización sólo se puede dar a un nivel lógico. Esto significa que la información todavía debe residir en ubicaciones o sistemas diferentes. Sin embargo, dicha distribución de la información puede ser transparente al usuario en sistemas de bases de datos distribuidos bien diseñados. El concepto de una base de datos común parece ser la mejor estrategia para lograr la integración. Los beneficios de este esquema son:

1. Se elimina completamente la conversión de datos; esto reduce considerablemente los costos.
2. Accesibilidad a los datos a todos los usuarios autorizados.
3. Uso eficiente de los datos por la recuperación de los objetos de datos y su reutilización en actividades similares (diseño, planeación de proceso, y fabricación).
4. La consistencia de la base de datos es fácil de lograr porque pueden ser evitadas las estructuras de datos incompatibles que son las fuentes de redundancia más importante.

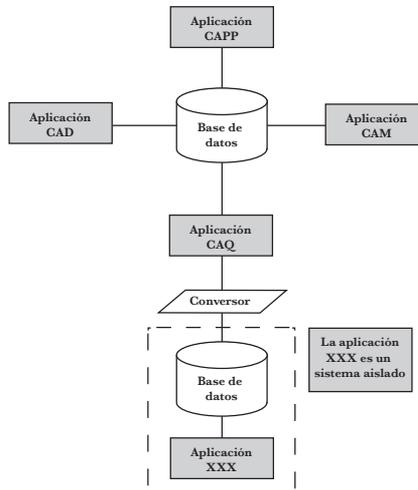
Figura 5.6. Base de datos centralizada



Fuente: Elaboración propia

Nivel 4: Integración de componentes aislados. El objetivo final de la integración es tener una arquitectura de base de datos común como en la integración del nivel 3. Pero la realidad es que los módulos de aplicación son diversos en términos de sistemas hechos a medida y formatos de datos. Puede ser difícil reescribirlos para que interfieren con el sistema de base de datos común. Para estos casos difíciles podemos llegar a usar una estrategia de integración de nivel 2, por la cual los componentes aislados pueden ser integrados a través del uso de convertidores hechos a medida en el que el sistema de base de datos juega un rol de formato de dato neutral. Dicho esquema es representado en la Figura 5.7.

Figura 5.7. Integración de componentes aislados.



Fuente: Elaboración propia

Grupos de trabajos en las empresas

Los grupos de trabajo en las empresas son necesarios por varias razones. Lo más destacado en la dirección de trabajo es la administración de cambios, coordinación, colaboración, y control.

1. Administración de cambios. Los cambios en las empresas resultan de decisiones estratégicas y operacionales como perfeccionamiento continuo, cambios en el diseño de productos, cambios en los volúmenes de productos, y procesos comerciales. Las decisiones deben ser hechas sobre cómo manejarse ante cada cambio. Esa confección de decisiones debe involucrar muchos individuos en una empresa. Una vez que las decisiones fueron tomadas, el impacto del cambio debe comunicarse a todos los afectados en la empresa. Herramientas y tecnología para la confección de decisiones de grupo y la comunicación entre empleados, clientes, y proveedores serán invaluable para lograr dichos procesos de grupo.

2. Coordinación. Una empresa manufacturera requiere la ejecución de un gran número de actividades. Estas actividades deben ser coordinadas para asegurar que están suficientemente sincronizadas. Por ejemplo, fabricar mucho de un producto en particular requiere la coordinación de actividades de compra, programación del piso de planta, y ensamblaje. La coordinación surge de las necesidades “top-down” del intercambio de información en una empresa que sus unidades están trabajando juntas para lograr sus objetivos.

3. Colaboración. La colaboración refleja las demandas *bottom-up* de una organización en el mismo modo que la coordinación refleja las necesidades *top-down*. La colaboración refleja las necesidades de staff en todos los niveles de la organización para intercambiar información y opiniones. La colaboración puede tomar lugar a través de canales formales o informales, como equipos, foros, e intercambio telefónico. Proveedores y productores necesitan intercambiar información para utilizar los recursos eficientemente y producir productos de alta calidad, y bajo costo de forma rápida.

4. Control. El control es un tema central en todas las organizaciones para garantizar el costo, la calidad, el tiempo de producción, y otros cumplidos. Esto requiere tanto canales de comunicación *top-down* y *bottom-up*: canales *top-down* para comunicar el conjunto de directivas de trabajo y objetivos, canales *bottom-up* para reportar que las órdenes han sido implementadas y los objetivos han sido logrados.

Para manejar el cambio y lograr la coordinación, la colaboración, y el control se requieren herramientas y tecnología. *Groupware* es el hardware y software interconectados que permiten a las personas respaldarse unas con otras en sus esfuerzos de lograr los objetivos de trabajo independientemente de dónde y cuándo lo quieran hacer. Informática colaborativa significa crear sistemas en los cuales un conjunto de

personas utilizan *groupware* para lograr los objetivos de su equipo, grupo, y organización. Estrategias imperativas para desplegar *groupware* son:

- “REs”: reingeniería, equipamiento, redimensionar, reinención, refabricación, reestructuración, reidear, redefinir, reposicionar.
- Equipos de trabajo, equipos virtuales.
- Enfocarse en las necesidades del cliente.
- Enfocarse en el núcleo de la competencia.
- Red empresarial.
- Organizaciones más planas.
- Conducir a ganancias en eficiencia y productividad.

Dos de las tecnologías más importante que facilitan *groupware* son el trabajo en red y el correo electrónico. Los productos *groupware* pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

1. Mensajería. Estos productos son principalmente sistemas de correo electrónico. Los sistemas de mensajería son productos de *groupware* que pueden ser conectados fácilmente con otros sistemas porque ya han sido definidos muchos formatos estándares para el intercambio de mensajes entre sistemas disímiles.

2. Coordinación y Programación. Estos productos están diseñados para administrar los tiempos de los usuarios y la coordinación con otros usuarios. Los productos incluyen calendarios, administración de información personal, y aplicaciones de programación.

3. Compartir información. Estos productos son diseñados para permitir a los usuarios manejar y compartir información en un modo no estructurado en una red. Ellos incluyen *Lotus Notes* (de *Lotus Development Corporation*), *PacerForum*, y varios sistemas de comunicados. *Lotus Notes* es un ambiente de desarrollo de aplicaciones que puede soportar comunicación, coordinación, y colaboración entre grupos y organizaciones. *Notes* tiene algunas características integradas como correo electrónico. Se pueden construir otras como foros de discusión y vistas “*groupware*” de bases de datos compartidas. *Notes* tiene una interface de programación de aplicaciones (API) que permite a los desarrolladores escribir aplicaciones que leen y escriben datos de otros sistemas de computadoras.

5.6 Marco para la ntegración total de la empresa

Se puede ver a la empresa manufacturera completa como un sistema que existe para proveer beneficios a los accionistas y productos y/o servicios a los clientes. En el proceso de lograrlo, los productos y los procesos de fabricación deben ser diseñados, los productos fabricados en respuesta a las demandas de los clientes, entregados

a los clientes y dar soporte en el período de uso, y finalmente los productos deben ser desechados una vez que su vida útil termine. Participando en estas actividades están los proveedores, diseñadores, ingenieros de fabricación, ingenieros de mantenimiento, *staff* de *márketing*, y otros.

En general, para que los sistemas y los elementos de los sistemas cumplan el propósito para el que fueron diseñados, se requiere una secuencia de actividades. Por ejemplo, un diseñador debe diseñar partes y un mecánico debe fabricar partes. Es necesario entender el proceso por el cual las actividades son llevadas a cabo para determinar cómo deben integrarse estas actividades. Puede ser usado un proceso de diseño de una parte para ilustrar la actividad de un sistema. El diseñador debe recolectar información, quizás entrevistando potenciales usuarios, sobre qué necesidades debe ser diseñada la parte para satisfacer, y luego generar varios conceptos de diseño de parte alternativos para satisfacer esas necesidades. Luego, se toma una decisión sobre cuál es el mejor candidato a diseñar. Finalmente, el diseñador debe completar el proceso documentando detalles específicos del diseño.

La actividad del sistema descrito involucra el diseño de un producto. Otras actividades de confección de decisiones siguen conjuntos de pasos similares. Estas actividades pueden ser dispuestas en un marco genérico para entender las actividades genéricas de la empresa. Primero se debe obtener información (I). La información es luego usada para determinar los requerimientos (R) para la actividad. Después, se debe obtener información (I) adicional sobre diferentes formas en que se deben satisfacer los requerimientos. Luego, se usa la confección de decisiones (D) para seleccionar la mejor alternativa, y se aplican acciones (A) para implementar o perpetrar la decisión. Esto es conocido como el marco IRIDA para sistemas de actividades y es un camino útil para pensar sobre las actividades que se realizan en una empresa.

Conceptos de integración

La integración involucra la coordinación y la armonía de las actividades de un sistema. La meta final de la integración es mejorar el desempeño global de un sistema enlazando actividades locales con sus objetivos globales. En este sentido, la integración no es nada más que un intento de optimización global.

Una analogía poderosa con los sistemas integrados es la filosofía de una respuesta humana a una amenaza externa. Tan pronto como aparece la amenaza, se debe coleccionar información (I) por medio de los sentidos (vista, olfato, audición, etcétera) para sugerir que existe una amenaza. Esa información debe ser procesada para establecer que existe una amenaza (un requerimiento, R, asevera que no todo está bien en este momento). Basado en la naturaleza de la amenaza, se utiliza más información (I) y análisis para determinar acciones alternativas (correr o pelear). En

este punto se debe tomar una decisión (D). Las decisiones deben considerar no sólo qué tipo de amenaza existe sino también en qué estado están los músculos de las piernas (con el fin de proveer movilidad), cómo están los pulmones (para proveer el oxígeno necesario para la energía), y cómo está el corazón (para bombear sangre oxigenada a los músculos). Si se toma la decisión de correr, ésta debe ser llevada a cabo mediante un conjunto de acciones (A). Al correr, para lograr el objetivo deben estar bien sincronizados los músculos de ambas piernas, ambas manos, los pulmones y el corazón. Éste debe latir más rápido para bombear más sangre, el ritmo de respiración debe incrementarse para obtener oxígeno más rápido, y así. Para todo este proceso, deben ocurrir una serie de señales (nerviosas y endocrinales) y flujos (oxígeno y sangre), de otra manera la integración estaría comprometida.

Siguiendo con la analogía, IRIDA será usado para describir cómo operan las empresas de manufactura integrada. Podemos usar un ciclo de vida para ver las actividades que ocurren en la empresa. Los productos deben ser diseñados, fabricados, distribuidos, reparados, y finalmente desechados. Cada una de éstas puede ser partida en un conjunto de actividades de menor nivel. Cada actividad, sin embargo, involucra ir variando diferentes aspectos de IRIDA. La necesidad de una integración surge porque las decisiones tomadas en una actividad tienen impactos en otras actividades. Por ejemplo, la selección de material de un diseñador para un producto afecta la forma y el costo de la fabricación y, en última instancia, la forma y el costo al desecharse. Si la selección del material se hace sin tener en cuenta los efectos en los costos de fabricación y eliminación, los costos subirán innecesariamente y los beneficios de los accionistas serán puestos en peligro. Al actuar de manera integrada, el diseñador seleccionará el material sólo después de tomar algunas consideraciones de costos del ciclo de vida, que pueden ser determinados obteniendo datos de los ingenieros de fabricación y ambientales.

La integración es mucho más que el mero acoplamiento de los procesos o del flujo de información. Sin duda, el flujo de información contribuye a la integración, pero es sólo un subconjunto del paradigma de la integración global. Consideremos un sistema con dos procesos, A y B, en el que el proceso A no puede tomar una decisión sin considerar las necesidades de B por razón de las consecuencias de la decisión (global). El flujo de información entre los dos procesos, incluso si es rápida y suave, no provee una integración completa. Más bien, debe existir una relación de matrimonio entre ellos para que la integración sea mínimamente satisfactoria. Esto significa que cada proceso puede influenciar en las decisiones que el otro proceso toma, si hay una buena comunicación entre ellos, y hasta si sus acciones están bien sincronizadas.

Generalizando los conceptos del último párrafo, observamos que hay tres prerequisites para lograr la integración de un sistema:

- Control y toma de decisiones integrados
- Integración de flujo de información y datos
- Acción integrada

Control y toma de decisiones integrados

Esto involucra la capacidad de cada uno de los componentes de un sistema para llegar a decisiones sólo después de considerar los puntos de vista y los requerimientos de los otros componentes del sistema. Si un proceso trabaja apropiadamente, se vuelve posible que las decisiones locales se vean reflejadas en una optimización global en un nivel del sistema completo. A pesar de que estas conexiones son pocas veces hechas, está claro que la ingeniería concurrente es un método para lograr control y la toma de decisiones integrados. Uno de las principales afirmaciones de la ingeniería concurrente es la in-organización de diferentes puntos de vista en las decisiones que se tienen que tomar en cada etapa del ciclo de vida del producto. De este modo los ingenieros de diseño no deben decidir ciegamente los materiales, dimensiones, y tolerancias del producto mientras consideran sólo los requerimientos funcionales del producto. Más bien, deben incorporar otras cuestiones: de fabricación, como qué material es más fácil y por lo tanto más barato de mecanizar que otro, ó de distribución donde un material puede ser más susceptible al daño en el traslado que otro. Considerando los diferentes puntos de vista, se volvió posible llegar a decisiones que contribuyan a minimizar el costo total del ciclo de vida.

Integración del flujo de información y datos

Se requiere una inmensa cantidad de datos para que una empresa mantenga un conjunto de productos y servicios en todo su ciclo de vida. Esto incluye datos relacionados con el diseño, producción, distribución, contabilidad, regulaciones gubernamentales, y demás. Para que una empresa esté integrada apropiadamente, toda la información requerida para la toma de decisiones y otros procesos debe estar disponible al instante en la forma en que sea necesaria. Si se falla en hacer esto se introduce un cuello de botella en el sistema y puede imposibilitar el control integrado (por ejemplo, cuando una cierta actividad de toma de decisiones no puede proseguir porque los requerimientos y los puntos de vista no fueron comunicados desde otros elementos de la empresa al punto en donde la decisión debe ser tomada). La conexión entre diseño y fabricación provee una buena ilustración de la necesidad de un flujo de datos en el formato correcto y en el tiempo justo entre componentes del sistema. Por un lado, la comunicación debe ocurrir de fabricación a diseño para que las consideraciones de fabricación sean incluidas en el proceso de toma de decisiones de diseño. Por el otro lado, una vez que ha sido completado un diseño,

es altamente deseable que los mismos datos sean transmitidos a la actividad de fabricación para que sean usados para producir los productos. De hecho, el sistema de integración de datos es el pegamento que mantiene un sistema integrado en conjunto. Considerando que cada proceso requiere una vista diferente de los datos, se necesitan medios que ayuden a presentar los datos a cada proceso en la forma es que sean requeridos. El flujo de información integrado requiere un diseño cuidadoso de la conexión de los conjuntos de bases de datos y redes de computadoras que son manejadas para tener un flujo de datos libre y transparente entre los componentes del sistema.

Acción integrada

La acción integrada es el tercer aspecto del concepto de integración de sistemas. Aunque debe existir una toma de decisiones integrada y una integración de datos, un sistema no puede considerarse bien integrado sin algunos medios de sincronización de las acciones llevadas a cabo en las diferentes partes del sistema. Si en el sistema ocurren acciones en tiempos aleatorios, la integración cooperativa física requerida para mover el sistema para lograr sus objetivos puede ser completamente perdida. Los efectos de la acción integrada pueden ser mostrados usando una analogía. Si consideramos que el objetivo de un sistema es levantar una carga de 1000 kg y el sistema está diseñado con cuatro grúas, cada una con una capacidad de levantar 300 kg, podemos ver que la carga será levantada sólo si los tiempos en que las cuatro grúas actuantes están bien sincronizadas.

5.7 Bibliografía

- Balle, M. (1995). *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London.
- Shuguang, L. and Rongqiu, C. “Understanding and implementing CIM through BPR”. *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.
- Mathaisel, B. F. (1993). “Managing IS across borders”, *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.
- Kateel, G., Kamath, M. and Pratt, D. “An overview of CIM enterprise modeling methodologies”. *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference ed. J. M. Charnes, D. J. Morrice, D. T. Brunner, and J. J. Swain*. Pages 1000 – 1007.

Parte II

Capítulo 6

Sistemas flexibles de manufactura

6.1 Introducción

La tecnología de manufactura flexible es una gran promesa para el futuro de la manufactura. Beneficios potenciales son el mejoramiento en calidad, la reducción en costos e inventario, y un mejor manejo de los productos. Esta tecnología puede dividirse en dos segmentos: *Flexible Manufacturing Systems* (FMS, sistemas flexibles de manufactura) y *Flexible Manufacturing Cells* (FMC, celdas flexibles de manufactura).

A un nivel superior, un FMS es una colección de FMC. También puede ser un grupo de máquinas fabriles dedicadas a un solo propósito, proveyendo flexibilidad debido tanto al flujo variable de material entre estaciones como a las diferentes combinaciones de usar estaciones de operaciones simples. En ambos casos, el resultado final es la capacidad de manufacturar piezas, productos terminados o semielaborados usando el mismo grupo de máquinas.

Una línea de producción con uso y operación variable de las estaciones puede funcionar como FMS. Es por esto que la manufactura flexible describe cualquier grupo de máquinas o centros con el objeto de mover material entre ellos. El sistema completo está manejado por computadores, los cuales pueden manufacturar colectivamente diferentes partes y productos desde el inicio al final. A pesar de que el acrónimo FMS es considerado en parte genérico, muchos otros términos y acrónimos son usados para describir esta clase de equipamiento para manufactura: CIMS (*Computer Integrated Manufacturing Systems*), CMPM (*Computer Managed Parts Manufacturing*), VMM (*Variable Mission Manufacturing*), por ejemplo.

Las máquinas herramientas usadas en FMS usualmente son centros de mecanizado CNC, pero también pueden usarse otros equipos, como estaciones de inspección o de ensamblado. Superficial. El concepto FMS de manufactura está caracterizado por la capacidad de integrar estaciones de trabajo, manejo automático de materiales y control computacional. El uso de FMS implica el uso de otros sistemas, como la tecnología de grupo (GT, *Group Technology*), que permite clasificar piezas con características de fabricación similares, la tecnología JIT (*Just In Time*, justo a tiempo), que permite que las materias primas lleguen al lugar indicado en el momento preciso, los sistemas MRP (*Material Requirements Planning*, planeación de requerimientos de productos), donde el material entrante es seleccionado para llegar al lugar correcto a la hora indicada, y finalmente los sistemas CAD, con el fin de permitir el uso de datos y especificaciones milimétricas del diseño en la programación de máquinas de control numérico (NC) e inspección automática.

Los sistemas FMS son más caros que los sistemas FMC, y asimismo son más difíciles de entender. Los sistemas FMS no son totalmente flexibles, debido a que están limitados al porte cúbico y forma general de las partes. Por lo tanto, una planta que esté operando con el concepto FMS debe poseer múltiples FMS para hacer

todas las partes para un ensamble complejo. El concepto de manufactura enfocada puede permitir a muchas plantas pequeñas producir un tipo simple de producto.

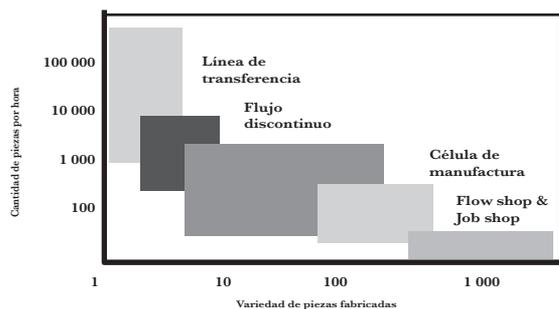
El concepto FMS es visto por muchos expertos como, al menos, una solución parcial al problema de producción de mediano volumen, la cual alcanza a nivel de países industrializados al 40% de la producción total. Los productos hechos en masa alcanzan solo el 25% del total. La Tabla 6.1 muestra una comparación de realidades a este respecto.

Tabla 6.1. Comparación de sistemas de máquinas herramientas para producción a distintos volúmenes

	Producción de partes	Producción en lotes	Producción en masa
Volumen anual de producción	1 a 10 000	5 000 a 200 000	más de 100 000
Motivación primordial	Capacidad	Flexibilidad	Volumen
Costo por parte	Muy alto	Bajando	Mínimo
Herramientas de corte	Estándar	Algunas especiales	Personalizadas
Manejo automático de partes	Raro	En alguno casos	Siempre
Flexibilidad para hacer partes totalmente diferentes	Sí	Poco posible	Imposible
Posibilidad de cambiar materiales	Sí	Limitada	Muy limitada
Posibilidad de implementación gradual	Sí	Posible	Difícil
Máquinas herramientas recomendadas	CNC	Centro CNC, FMC, FMS	Líneas de producción
Aplicaciones típicas	Aviación	Motores	Industria automotriz

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.1. Relación flexibilidad versus capacidad de producción.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6.1. puede observarse una representación gráfica de flexibilidad en la producción versus capacidad de producción para FMS, así como para otros sistemas.

6.2 Comparación de manufactura flexible

El concepto FMS es más aplicable en procesos de familias de partes, o piezas de volumen medio de producción como ejes, bloques de motor, etcétera. La mayor parte de las instalaciones FMS actualmente en operación se emplean para manufacturar partes prismáticas que requieren operaciones de taladrado, fresado, ranurado o torneado.

Al usar FMS se reducen los costos de mano de obra directa, pero aumentan los de mano de obra indirecta, debido al mayor nivel de complejidad del hardware. También se reducen los tiempos de producción, debido a la mayor eficiencia de uso de las máquinas, la cual puede alcanzar el 85%, valor considerado excelente. Existe con FMS una posibilidad de acomodar cambios en el volumen de partes, mezclar productos y hacer cambios en el diseño, sin tener grandes problemas. Debido a la mayor velocidad de procesamiento de las partes, se puede reducir notablemente el inventario, especialmente si se usan los sistemas JIT y MRP. La administración de la planta se simplifica con FMS al tener el control principal un computador, el cual puede manejar pequeños cambios o denunciar fallas. De esta manera se facilita el sistema de control gerencial.

La justificación de costos de un FMS puede subdividirse en los costos de adquisición y los costos de operación. Los costos de adquisición deben realizarse una sola vez, e incluyen la preparación del lugar físico, el costo del equipo, el diseño del sistema y la preparación inicial de los operadores. Los costos de operación son comparables a los costos de otros tipos de plantas e incluyen programación de uso, mantenimiento, reprogramación y actividades de control de calidad actual y bajo posibles nuevas normas. El valor de un FMS radica en sus aplicaciones, y puede ser extendido u optimizado si un sistema así es adecuadamente integrado a maquinaria convencional, la cual constituye la corriente principal del ambiente fabril actual. Errores en la aplicación se producen en gran parte debido a la falta de visión económica, ya que para implementar el sistema debe tenerse claro cuáles son los objetivos finales. Redefinir los proyectos es permitido y fomentado, pero uno debe tener claro que ese tipo de redefiniciones significará mayores gastos.

Al planear la instalación de un sistema FMS, es necesario ceñirse a un modelo de implementación preexistente, la experiencia ha demostrado que ninguno de los pasos puede saltarse por completo:

1. Definir qué se va a producir y si la planta y el personal están capacitados para eso.
2. Establecer familias de partes entre los productos o componentes.

3. Determinar el volumen a producir en el corto plazo (el primer año).
4. Pronosticar el volumen a producir a 10 años plazo.
5. Analizar con profundidad las capacidades del personal, un futuro líder del proyecto¹.
6. Analizar ofertas de equipos y sistemas, se puede usar consultoría externa para elegir la mejor opción.
7. Hacer una evaluación general del proyecto, incluyendo los costos. Los sistemas pueden tener un costo alto.
8. Comprar el sistema.
9. Anticipar la puesta en marcha, tanto dentro como fuera de la planta, hablando con proveedores y distribuidores.
10. Desarrollar las rutinas del sistema, definir el mantenimiento, reevaluar los prototipos del sistema, con el fin de chequearlo y mostrarlo a sus futuros operarios.
11. Instalar el sistema.
12. Realizar auditorías o revisiones periódicas, con el fin de comprobar si los objetivos originales se están cumpliendo.

La implementación de un sistema FMS debería cumplir con algunas especificaciones, y aunque éstas no son absolutamente necesarias, se aconseja su uso:

- Se deben establecer caminos para desarrollar subsistemas comunes de control de estadísticas, administración del mantenimiento, de tal manera que éstos estén integrados con los otros subsistemas.
- Se debe usar un software común para integrar los sistemas actuales
- Se debe usar convenciones (software) comunes para las interfaces hombre/máquina, de tal manera que los operadores, inspectores y mantenedores usen el mismo procedimiento al interactuar con todas las máquinas.
- Se debe usar una base de datos administrativa.
- Se debe usar equipamiento computacional común para la información gráfica y de texto.
- Las especificaciones de control de programación deben estar estandarizadas con el fin de incorporar interfaces comunicacionales con los proveedores y distribuidores.

¹ Tras estos primeros cinco pasos se podrá asegurar si la empresa es candidata a usar un sistema FMS o no. Si lo es, la información obtenida será de gran importancia al implementar el resto del programa.

El uso de robots se ha intensificado últimamente, a tal punto que hoy son vistos simplemente como máquinas herramientas CNC, que son incorporadas a FMSs y FMCs. Cuando son apropiados, los robots se usan para el manejo de materiales, fijación de piezas en las máquinas y otros procesos que son hechos mejor por el robot que por una máquina CNC dedicada. Muchos distribuidores de FMS proveen los robots como parte integral de los sistemas, y en esto hay que tener precaución, pues los robots no son siempre compatibles.

El software y hardware FMS deben trabajar juntos en tiempo real, y una simulación es una buena manera de asegurar que esto ocurra. Debe existir primero una planeación de la capacidad de la planta para así, conociendo la demanda y las condiciones de operación, diseñar una estrategia que permita una adecuada base para la fase de planeación del MRP. Éste, basado en los inventarios que maneja, desarrolla un programa de entrega de productos. El CAPP también ofrece ayuda a la hoja de ruta de un producto, incluyendo los estándares de tiempo directo del diseño, permitiendo la viabilidad de la integración con los sistemas CAD/CAM. Debe existir, por tanto, un programa computacional de tiempo real que vaya comprobando la ejecución de las funciones encomendadas, y que reconozca errores de tal manera de no mandar materiales a una máquina que esté fallando.

Las herramientas de simulación han ido creciendo en importancia al ayudar a planear, diseñar y administrar FMSs. Solo utilizando las capacidades de un computador para modelar distintos escenarios y configuraciones puede un planificador estar seguro de seleccionar la más efectiva solución para las necesidades particulares del sistema. Existen dos tipos de programas que realizan simulaciones: Los de simulación discreta y los de simulación continua. Los primeros sirven para hacer simulaciones gerenciales de una planta, vale decir, simulan cuánta materia prima entra y cuántos productos salen en determinado período de tiempo de cada máquina. Con ellos se puede hacer un *layout* de toda la planta, pero no se ven los cambios dentro de cada una de las máquinas. En cambio, los simuladores continuos muestran operaciones específicas, pues se pueden hacer *layouts* de movimientos en particular, por ejemplo la programación de una pieza. De esta manera, los simuladores discretos permiten analizar la factibilidad de lograr cierta producción en determinado período de tiempo maximizando el uso de las máquinas, y los simuladores continuos permiten detectar inconvenientes particulares, así como los tiempos exactos de mecanizado para así determinar también los costos exactos de cada operación.

El manejo de herramientas es otro aspecto que ha ido adquiriendo importancia en los FMSs que cortan metales. No tener operadores que vigilen las operaciones de corte implica tener sensores automáticos de quebrazón de herramientas, de tal manera de detectar problemas cuando éstos ocurran. El uso de

herramientas de calidad es esencial en las operaciones de precisión. Esto además aumenta la productividad y flexibilidad de un sistema FMS de varias maneras, pues usando portaherramientas adecuados se aumenta la repetibilidad de uso de una máquina, especialmente con el uso de máquinas programables. Este es el caso de los centros de mecanizado, los cuales pueden realizar operaciones de torneado y fresado, usando los *magazines* de herramientas adecuados. Hoy en día estos *magazines* pueden cargar 90 o más herramientas.

Los requerimientos del sistema de control de un FMS son mucho más que simples máquinas NC. La necesidad de lograr coordinación e integración en todos los aspectos de las operaciones de manufactura incluye sistemas de manejo de materiales, máquinas manufactureras, equipamiento de inspección, de recolección de datos y de reporte. La necesidad de información de estos equipos debe ser manejada por sistema de control del FMS. El control de la producción de un FMS es hecho por una jerarquía de computadores, empezando en los más altos niveles con los sistemas controladores de la planta, manejados por un sistema MRP. Esto provee de la necesidad de fabricar productos. Las órdenes de alto nivel son llevadas a controladores de celda, los cuales traducen la información y se la envían a las máquinas NC u otras.

La jerarquía de control se divide en tres niveles de control:

- El programador dinámico, el cual determina el nivel de producción inmediato de cada pieza para así aprovechar al máximo la capacidad cambiante del sistema.
- El secuenciador de procesos, el cual determina el detalle del movimiento interno de piezas. Para achicar el número de posibilidades a evaluar en este nivel, algunos de los conflictos interdependientes son resueltos en un nivel menor por un mecanismo más rápido, para determinar el tiempo de mecanizado.
- La asignación de recursos dinámicos, o nivel de comunicación, el cual transmite las decisiones y recibe información de los controladores de las máquinas. Una parte de este nivel está a cargo de juntar datos estadísticos, monitorear las opciones del sistema y proveer servicios de aplicación en el momento oportuno. Un procesador de eventos coordina las actividades generales en el controlador.

La operación de un FMS es relativamente simple. Típicamente, un FMS es programado para operar de acuerdo a objetivos predefinidos; por ejemplo, la optimización del flujo de materiales o la maximización de uso de las estaciones. El computador central selecciona una pieza específica para ser mecanizada de acuerdo a los programas de producción almacenados en su memoria. La lleva, la fija en la máquina y luego ejecuta el primer programa de mecanizado, y así sucesivamente. Grabados

en el mismo computador se encuentran los pasos para todos los procesos de las distintas piezas, de tal manera que sea él quien discierne cuál será la máquina que empezará a mecanizar tal o cual pieza. Asimismo será él quien tome las decisiones de cuándo una máquina deja de operar, ya sea por ubicación o por tiempo. De esta manera, las piezas viajan simultáneamente por el sistema en orden aleatorio, parando sólo en estaciones seleccionadas. Cuando el procesamiento está completo, las piezas terminadas son enviadas a la estación de carga/descarga, donde son removidas por el operador. Esta es la única operación manual requerida en la operación de un FMS (excluyendo obviamente preparación de las herramientas, mantenimiento y monitoreo); todas las otras funciones son automáticas en la mayoría de los casos.

6.3 Celdas flexibles de manufactura

Una Celda Flexible de Manufactura (FMC, *Flexible Manufacturing Cell*) es un grupo de máquinas relacionadas que realizan un proceso particular o un paso en un proceso de manufactura más largo. Puede ser, por ejemplo, una parte de un FMS. Una celda puede ser segregada debido a ruido, requerimientos químicos, requerimientos de materias primas, o tiempo de ciclos de manufactura.

El aspecto flexible de una celda flexible de manufactura indica que la celda no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, mas puede acomodarse fácilmente a distintas partes y productos, usualmente dentro de familias de propiedades físicas y características dimensionales similares.

Un FMC es un centro simple o un pequeño conjunto de máquinas que unidas producen una parte, subensamble o producto. Una de las distinciones entre una celda y un sistema es la falta de grandes manipuladores de material (como AGVs) entre las máquinas de una celda. Las máquinas en una celda están usualmente ubicadas de manera circular, muchas veces con un robot en el centro, el cual mueve las partes de máquina en máquina. El conjunto de máquinas en una celda se complementa para efectuar una actividad básicamente relacionada, como mecanizado, taladrado, terminación superficial o inspección de una pieza. Un FMS puede contener múltiples celdas, las cuales pueden realizar diferentes y variadas funciones en cada celda o en una máquina o centro en particular.

Celda flexible

Algunos empresarios han manifestado que el primer beneficio de FMC es en el área de control de la producción. Las celdas reducen el tiempo de proceso y el inventario. Además, moviendo varios procesos a una celda, se logra que muchas órdenes de producción se consoliden en una sola orden. De esta manera se programa mejor

la producción, así como se disminuyen los movimientos de material, si se usa en conjunto los principios JIT.

Las celdas de mecanizado son generalmente más baratas para instalar y desarrollar, permitiendo al usuario implementar tecnología de manufactura flexible de manera gradual. La opinión actual de muchos usuarios de FMC es “más simple es mejor”. Los empresarios manufactureros están implementando celdas flexibles de manufactura, y luego integrando las celdas, pero sin las uniones forzadas e interdependencias de un FMS totalmente operativo. Varios usuarios FMS no han logrado nunca una total funcionalidad en sus sistemas, debido a funcionamiento impreciso o falta de comunicación. El software FMS es uno de los más grandes problemas para estos usuarios. Es por esto que la tendencia hoy en día apunta a la implementación de celdas flexibles.

Las diferencias entre un FMS y un FMC pueden ser poco claras, debido a que ambas apuntan a un mismo resultado final; sin embargo, el camino es distinto. La implementación de un FMS requiere normalmente de un plan CIM que lo acompañe, mientras que en algunas circunstancias, un FMC simple puede ser planeado e implementado sin completar un plan CIM. El uso de técnicas de simulación, de las cuales ya se habló, hace mucho por prevenir resultados indeseables, sin un mayor gasto de recursos. En la planeación de la instalación de un FMC, varias áreas deben ser tomadas en consideración:

- **Área de trabajo directo:** Selección de máquinas que funcionarán sin operador, minimización de tiempos de preparación y tiempo perdido
- **Área de trabajo indirecto:** Inspección, manejo y envíos
- **Área de máquinas:** Herramientas, enfriadores y lubricantes
- **Área de manejo de materiales y papeleo:** Movimientos de partes, programación de trabajos, tiempos perdidos

Los programas de simulación para celdas ocupan elementos de ambos tipos de simulación detallados anteriormente, pues en la fase inicial usan una simulación discreta para luego usar una continua. Este tipo particular de simulación se denomina simulación de celda de trabajo. La simulación de celda de trabajo puede ser mejor aprovechada en la etapa de diseño de la celda, con el fin de evitar nuevas revisiones y rediseños. La confianza que se logra en estas simulaciones es alta. El proceso de la celda puede evaluarse tanto por integridad conceptual como por eficiencia. Se pueden efectuar modificaciones importantes de muchas maneras con el fin de encontrar la solución óptima. De todas las capacidades que debe poseer este simulador, una de las más importantes es la de poseer un detector automático de colisiones. El solo hecho de tener esta característica hace ser este programa de concepto

una realidad tangible. Otra posibilidad importante es realizar modificaciones a los programas en ambientes simulados, es decir, con el robot moviéndose pero sin las máquinas en su entorno. Más adelante pueden irse ubicando éstas, para finalmente usar el programa con máxima seguridad y confianza.

Las celdas flexibles de manufactura tienen dos cosas en común: Las máquinas son operadas por un control común y hay un manejo común de los materiales. El control de las operaciones de los centros de mecanizado es manejado por una unidad central de procesamiento (CPU). Los datos programados son ingresados y modificados, y la ubicación y estado de los pallets es mostrado en tiempo real. La programación de tiempo, el número de programas requeridos y el total acumulado de mecanizados incompletos están también a la mano. Algunos controladores también manejan la selección de herramientas, el monitoreo de las condiciones de corte y la generación de rutas óptimas para las herramientas. Funcionalmente, el sistema de control debe ser capaz de lo siguiente:

1. Monitoreo de equipos: Se extiende así la capacidad del operador.
2. Monitoreo de alarma: Detecta y reporta condiciones de error, y responde con acciones alternativas automáticamente.
3. Administración de programas: Permite guardado, carga y descarga de programas e instrucciones para equipos programables o manuales.
4. Control de producción: Analiza el trabajo en proceso y optimiza con esos datos el despacho de piezas terminadas.

Las celdas flexibles han encontrado importantes aplicaciones en todo tipo de empresas, logrando mejoras del siguiente orden:

- En mecanizado: 30% de disminución en tiempo muerto y un 55 a 85% de aumento en la utilización de máquinas.
- Con utilización de robots: Casi 100% de aumento en la producción y un 75% de ahorro en el tiempo de producción.

La necesidad de continuas y largas corridas de productos estándar puede requerir la vuelta al sistema de líneas de producción, sin embargo, la necesidad de programación flexible y dinámica, gran variabilidad de productos y personalización de productos para los requerimientos del cliente, llevará a muchas compañías al uso de celdas o sistemas flexibles de manufactura.

Nacidas de la necesidad de competir contra las presiones globales, y hechas posibles por la reestructuración industrial y los rápidos cambios de la tecnología, las celdas flexibles de manufactura están proveyendo soluciones claras a muchos empresarios manufactureros. Muchos observadores de la industria ven con buenos ojos

el futuro, un futuro en el que las FMCs no sólo van a solucionar difíciles problemas de manufactura, sino también van a servir como el peldaño a los FMSs, así como a las “fábricas del futuro”.

6.4 Bibliografía

- Balle, M. (1995). *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London.
- Mathaisel, B. F. (1993). “Managing IS across borders”, *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.
- Kaighobadi, M, and Venkatesh, K. “Flexible Manufacturing Systems: An Overview”. *International Journal of Operations and Production Management*, 14(4) 1994, pp. 26 - 49.
- Shuguang, L. and Rongqiu, C. “Understanding and implementing CIM through BPR”. *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.

Parte III

Automatización y robótica industrial

Parte III

Capítulo 7

Control numérico computarizado

7.1 Introducción

La evolución de la tecnología de las máquinas herramientas ha estado marcada por grandes avances en la capacidad de control, particularmente en los últimos 30 años. La configuración básica de muchas máquinas herramientas (tornos, por ejemplo) no ha cambiado en muchos años; pero, la llegada del control numérico, control numérico computacional y avances relacionados han traído importantes cambios y efectos en los métodos de manufactura y sus costos.

Controladores secuenciales

Los controladores secuenciales son una clase de dispositivos electromagnéticos y electrónicos usados para controlar la operación de una máquina herramienta u otro equipo de una manera predeterminada por pasos. Es característico de estos dispositivos el método de establecer la secuencia de control deseada y la manera en que el controlador funciona. Los tipos más comunes de controladores secuenciales existentes hoy en día son los programadores de cilindro o tambor, los programadores de cinta perforada y los de tableros con matriz de diodo. En los primeros, la secuencia de control deseada se establece insertando clavijas en las filas apropiadas en la superficie de un cilindro. Cada una de estas filas cumple con una misión, y cuando la clavija pasa por un switch, éste se enciende efectuando el movimiento deseado, ya sea encendiendo un motor o aumentando el avance, etcétera. El cilindro va girando, de tal manera que se produce el efecto deseado. En los programadores de cinta perforada, la secuencia de control está establecida por el patrón de hoyos que han sido perforados en la cinta, a la manera de como tocaban por sí solos los antiguos pianos. De esta manera se ejecuta la secuencia deseada de operaciones. Los de tableros funcionan de manera similar, y la alteración de la secuencia solo depende de alterar la posición de los diodos. Todos los tipos de controladores secuenciales son usados típicamente para aplicaciones con una misma secuencia de operación y para gran cantidad de repeticiones.

Controladores programables

Un controlador programable (PC, *Programmable Controller*) es un dispositivo de estado sólido usado para controlar el movimiento o el proceso de operación de una máquina por medio de un programa grabado. El PC manda señales de control de salida u *output* y recibe señales de entrada o *input*. Un PC controla los *outputs* en respuesta a estímulos en los *inputs*, de acuerdo a la lógica prescrita en el programa guardado.

Los *inputs* están hechos de switches, botones, pulsos, señales análogas, datos ASCII, y datos binarios de codificadores de posición absoluta.

Los *outputs* son niveles de voltaje o corriente para manejar dispositivos finales como solenoides, partidores de motores, *relays*, luces y otros.

Un PC contiene una CPU, el cual es el “director de tráfico” del procesador, y una memoria que guarda la información. Al procesador llegan las señales *input*, éste las procesa y manda *outputs* basado en las instrucciones que tiene en memoria. Por ejemplo, el procesador puede estar programado de tal manera que si un *input* conectado a un *switch* es verdadero (el *switch* está cerrado), entonces un *output* correspondiente será energizado. El procesador recuerda este comando en su memoria y compara en cada búsqueda para ver si ese *switch* está efectivamente cerrado. Si está cerrado, el procesador energiza el solenoide encendiendo el módulo *output*. El PC realiza tales decisiones secuencialmente y de acuerdo al programa guardado. Además el PC puede ser reprogramado, sólo cambiando el programa en su memoria. Existen varias diferencias entre un PC y un computador u otro tipo de controlador:

1. El PC está diseñado para comunicarse con el mundo exterior directamente
2. El PC es bastante más fácil de programar, cualquier eléctrico o técnico lo puede manejar, además un buen PC puede reprogramarse en línea, es decir, mientras está funcionando
3. Los PCs están diseñados para un ambiente industrial, y permiten ser usados en ambientes adversos sin afectar su operación

Los PCs poseen numerosas ventajas, como la facilidad de reprogramación, el ahorro de dinero, la compatibilidad con otros sistemas, la facilidad de expansión, el menor uso de espacio físico, etcétera. Actualmente, los PCs han ido evolucionando y permiten realizar operaciones de conteo, de cronometraje, cálculos matemáticos, reportar datos acumulados, etcétera.

Perspectiva histórica

El CNC (*Computer Numerical Control*) tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnológico de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etcétera. CNC significa "control numérico computarizado".

Se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los despla-

zamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa.

Ventajas del uso del control numérico

El control numérico (NC, *Numerical Control*), el control numérico computarizado (CNC, *Computer Numerical Control*) y el control numérico directo (DNC, *Direct Numerical Control*) han dado a la industria manufacturera la capacidad de ejercitar un nuevo y mayor grado de libertad en el diseño y manufactura de productos. Esta nueva libertad es demostrada por la capacidad de producir automáticamente productos que requieren de procesamientos complejos con un alto grado de calidad y confianza. Es más, productos que antes eran imposibles de fabricar económicamente pueden ahora ser hechos con relativa facilidad usando máquinas NC.

Los avances en los diseños de los productos y de las máquinas han sido paralelos; cada avance en las máquinas NC no solo permite diseños de productos antes impracticables, sino que además sugiere mejoras adicionales en las máquinas, lo cual permitiría una mayor complejidad en el diseño de productos. Por esto el diseño de máquina / producto es un continuo ciclo.

El control numérico es aplicable a una gran variedad de tareas industriales. Al evaluar la aplicabilidad del NC a un trabajo en particular, el mayor peso debería caer sobre trabajos que incluyan:

1. Una larga serie de operaciones en las cuales un error en la secuencia destruiría el valor de las operaciones
2. Una gran variedad de diferentes secuencias de operación que deben ser rápida y frecuentemente utilizadas en una misma máquina
3. Una secuencia relativamente compleja de operaciones
4. Una operación en la cual no sea práctico para un ser humano operar en el ambiente requerido

Las ventajas del NC en la manufactura son, entre otras:

- **Planificación:** Las máquinas herramientas NC proveen un medio económico para la administración de la manufactura haciendo detallados planes de operación y al mismo tiempo reteniendo soportes documentados de dichos planes.
- **Flexibilidad:** Se puede realizar una mayor cantidad de operaciones individuales en una pieza, debido a sus ventajosas capacidades.
- **Programación del tiempo:** La aceptación del concepto de mecanizado NC implicará trabajos más complejos en programas simples, con la consiguiente reducción de tiempo.

- **Tiempo muerto y de preparación:** Debido a que las máquinas NC ocupan un mínimo de preparación para convertir materias primas en productos terminados, si existe una adecuada coordinación habrá importantes disminuciones en el tiempo muerto.
- **Mejor control del tiempo de mecanizado y de procesamiento:** Al no existir humanos a cargo, las órdenes del departamento de ingeniería llegarán directamente a la máquina, con un estudio previo de la optimización del proceso.
- **Utilización de las máquinas:** En general, las máquinas NC tienen un mayor costo por tiempo de utilización que otras máquinas; sin embargo, al no existir fatiga ni intervención de operadores, existe un sustancial potencial de mayor utilización de la máquina.
- **Costo de las herramientas:** El costo disminuye debido a que se tiende a una estandarización de las herramientas; además, hipotéticamente no existen errores en la utilización de éstas, por lo que se elimina la ruptura y el costo de ésta.
- **Precisión:** El mecanizado con equipos NC aumenta la repetibilidad de pieza a pieza y de corrida a corrida en comparación a máquinas tradicionales.
- **Tiempo de flujo del material y manejo de las piezas de trabajo:** Ambos disminuyen debido a que las máquinas NC convierten materias primas directamente en productos terminados.
- **Seguridad:** La especialización en la planificación de detalles, en preparar las herramientas de corte y sus respectivos portaherramientas contribuye a una mayor seguridad del operador.
- **Intercambiabilidad:** Existe soporte documentado después de la primera vez que se hace una pieza, con la estandarización existente se puede intercambiar esta información ya sea con otras máquinas o con otras plantas.
- **Estimación de costos:** En ella, los dos ítems que más influyen son el costo del material y el costo del mecanizado. Al conocerse aquí el tiempo exacto del mecanizado se puede hacer una estimación bastante acertada del costo de las piezas.
- **Productividad:** Con una buena programación, se minimizan los tiempos muertos, y existiendo intercambiadores automáticos de herramientas, se aumenta claramente la productividad en relación con máquinas herramientas convencionales.

Existen además ventajas en el campo del diseño, debido a que se pueden hacer prototipos más precisos cuando se usan máquinas NC, esto es, debido a que cuando

la parte es puesta en producción, se logran mejores tolerancias. Además, al tener las máquinas NC la capacidad de hacer contornos precisos, se evita el uso de herramientas especiales, disminuyendo los costos. Las decisiones envueltas en la manufactura de las partes han sido alejadas de las manos del operador de la máquina herramienta y puestas en manos del programador de partes. El operador tiene poco o nada de control sobre la secuencia de operaciones o sobre la herramienta que se va a usar. Las tolerancias con que se diseña son respetadas por la máquina y en forma repetida en todas las piezas. Estas características llevan a una consistencia en la manufactura.

7.2 Justificación económica del control numérico

Para un comprador principiante, evaluar equipos de control numérico siempre reviste ciertos miedos. El gasto es grande, y los cambios en la empresa son anticipados como grandes y devastadores. Frecuentemente, las personas que evalúan el proyecto consideran que es incómodo examinar una decisión con tantas “incógnitas” y tantos “riesgos”.

El propósito de una justificación económica es la evaluación de muchas propuestas bajo el mismo tipo de circunstancias, para seleccionar la que dé óptimos beneficios a la empresa, considerando los niveles de inversión y políticas de la misma. El estudio de alternativas debe incluir las fuentes de las cuales se obtendrán beneficios. Muchas veces, en análisis económicos pasados, los ahorros por concepto de mano de obra directa eran tan grandes que dominaban todos los demás beneficios. Cuando se considera NC, un rango completamente nuevo de tecnología está disponible, por lo que las áreas con beneficios económicos son muchas más. Se han encontrado mejoras dentro de los siguientes rangos con el uso de NC:

- Preparación de máquinas: 20-70%
- Manejo de materiales: 20-50%
- Inspección: 30-45%
- Trabajo en proceso: 20-30%

Los beneficios del NC no son comunes a todos los tipos de máquinas herramientas NC. Por ejemplo, los beneficios obtenidos de un taladro simple de dos ejes no serán los mismos que se deriven del uso de un centro de mecanizado con cambiador automático de herramientas. Mientras más funciones pueda realizar una máquina NC, mayormente ventajoso será su impacto en la empresa. Muchos de los beneficios del NC no pueden ser evaluados sobre la base de una máquina. Por esto se hace necesario un plan de alto vuelo, con más de una máquina. Este plan debe ser para un periodo de 5 a 10 años, comparando el ambiente existente con uno totalmente reemplazado por NC.

Después de que cada alternativa ha sido evaluada basada en características técnicas, cada una tendrá un valor base para la compañía, en comparación a otras alternativas y al método actual de producción, principalmente. Se deberá evaluar la mejor alternativa técnica a través de un análisis económico en profundidad. El primer paso en un análisis de este tipo es desarrollar una muestra de la carga que será procesada en el nuevo equipamiento, esta muestra debe ser representativa del trabajo que se realizará. A partir de esta muestra, las proyecciones pueden hacerse del efecto en la carga total, eliminando la necesidad de un estudio largo y detallado, manteniendo una exactitud estadística. Después de que el proyecto haya sido adoptado e implementado, esta muestra servirá de base para una auditoría o revisión de resultados, un paso crítico pero muchas veces olvidado.

El próximo paso es identificar las categorías de beneficios y costos. Típicamente se obtienen ahorros en las siguientes áreas:

1. Mano de obra directa
2. Costo de herramientas e instalación
3. Costo de herramientas consumibles (pastillas, por ejemplo)
4. Costo de movimiento de inventario
5. Costo de preparación de herramientas
6. Costo de programación
7. Costo de inspección
8. Costo de transporte intra-planta
9. Costo de mantenimiento

Debe hacerse notar que el impacto de estos factores varía con el proyecto. Por ejemplo, si las piezas de trabajo son costosas, las consideraciones de inventario deben ser de mayor influencia que los ahorros en mano de obra directa. Lo que se desea es el balance óptimo de los costos.

7.3 Elementos de sistemas CNC

Los elementos básicos de un sistema de control numérico computacional son: La interfase del operador, la interfase de la máquina, y el control, que une a los anteriores. El control es el corazón del sistema. Procesa la información recibida de ambas interfaces, interpretándola y manipulándola con lógica de hardware y de programas (software). La memoria provee el medio para guardar los programas y manejar los datos entrantes. Basado en la información recibida, el control devuelve datos a las distintas interfaces.

La interfase del operador consiste en dispositivos que mandan, reciben e interpretan información. Considerando que las operaciones realizadas por sistemas

NC están definidas por el software, los dispositivos de interfase se necesitan para ingresar los programas de la memoria. La cinta perforada es el más común. La estación del operador es el otro gran elemento de interfase. Ésta contiene todos los interruptores, botones, *displays*, etcétera. requeridos para operar y monitorear las actividades de la máquina. Los dispositivos de mecanizado son manejados por el control. Basados en la información entregada por la interfase del operador y realimentados por varios dispositivos de la máquina, el control conecta y desconecta las acciones y movimientos de ella.

El control

El control realiza decisiones de tiempo real en un proceso. Existen distintos tipos de sistemas de control, sin embargo, cada uno puede dividirse en las mismas unidades funcionales. Cada unidad realiza funciones específicas, y todas las unidades funcionan juntas para ejecutar las instrucciones programadas. Estas unidades son:

- **Unidad de entrada:** Todas las instrucciones y datos son ingresados a través de ella, pudiendo ser software o señales análogas, las cuales son convertidas a digitales
- **Unidad de memoria:** La memoria guarda lo recibido por la anterior. También guarda los resultados de las operaciones aritméticas y provee información a la salida. Se divide en memoria RAM y ROM, siendo la principal diferencia entre éstas que la primera puede ser leída y re-escrita, mientras la segunda sólo puede ser leída
- **Unidad aritmética:** Realiza cálculos y toma decisiones
- **Unidad de control:** Toma las instrucciones de la memoria y las interpreta de a una. Luego manda las instrucciones apropiadas a otras unidades para ejecutar las instrucciones
- **Unidad de salida:** Toma datos y los envía, por ejemplo para encender y apagar dispositivos, mostrar información; traspasa las señales digitales a análogas

Los tipos de control más conocidos son los de lazo cerrado y de lazo abierto. La diferencia entre ambos es la presencia o ausencia respectivamente de realimentación de la posición de los ejes.

Interface del operador

La interface del operador consiste en todos los dispositivos, exclusivos de la máquina, que mandan y reciben información de control. Los más comunes se detallan a continuación:

- **Cinta perforada:** Cuando se usa, las instrucciones para una operación dada están contenidas en varias filas de información llamadas bloque. La ventaja de este sistema es que permite hacer ciclos que apenas terminan de fabricar una pieza comienzan a fabricar otra. Los lectores de cinta son o electromagnéticos o fotoeléctricos en la detección de las perforaciones
- **Cinta, disco o tambor magnético:** Los dispositivos magnéticos graban y leen manchas magnéticas sobre una superficie en movimiento. La ventaja de este sistema es que puede almacenar gran cantidad de datos
- **Estaciones de operación:** Contienen todos los interruptores, botones y displays necesarios para operar la máquina. El propósito principal de ellas es iniciar la operación automática, ingresar los datos y monitorear las actividades
- **Computador anfitrión:** El uso de ellos es ventajoso para ciertos usos particulares, pero por su elevado costo no vale la pena tenerlos inoperantes durante tanto tiempo. Sin embargo, hoy en día se comienzan a usar modelos más baratos, los que permiten mejorar aún más el control de calidad
- **MODEM (*MODulator DEModulator*):** Convierte los datos del control en una forma compatible con líneas telefónicas. Su uso principal se relaciona con diagnósticos, y permite a los fabricantes recibir datos de problemas de sus clientes directamente

Interface de la máquina

La interface de la máquina contiene todos los dispositivos usados para monitorear y controlar la máquina herramienta. Puede monitorear las posiciones, la presión de aire o hidráulica, controlar los motores, etcétera. Sus principales componentes son:

- **Interruptores de proximidad y de límites:** Los primeros son usados para determinar la ubicación de un miembro de la máquina. Se ubican cada cierto tramo del campo de acción de la máquina, sin embargo, hoy en día ya no se usan por su inexactitud. Los interruptores de límites se ubican al final de los ejes y evitan accidentes desconectando la energía cuando algún miembro de la máquina sale del campo de acción.
- **Interruptores de presión y temperatura:** Determinan las condiciones de operación de la máquina, y permiten monitorearlas.
- **Válvulas de control:** Muchos miembros de las máquinas herramientas son controlados por cilindros u otros dispositivos hidráulicos o con aire, por ejemplo, los cambiadores automáticos de herramientas o los controladores de avance de algún eje.
- **Servomecanismos:** Los servomecanismos (también llamados “servos”) son grupos de elementos que convierten la entrada NC en desplazamien-

tos mecánicos de precisión. Estos elementos incluyen motores (hidráulicos o eléctricos), juegos de engranajes y reductores. Los servos pueden ser de ciclo cerrado o abierto, dependiendo de si el control recibe la confirmación de que el movimiento se hizo o no.

7.4 Fundamentos del control numérico directo

El control numérico directo (DNC) es un sistema que conecta un grupo de máquinas de control numérico a una memoria computacional común para el almacenaje parcial de programas, con provisión para la distribución de datos de mecanizado durante la demanda. Típicamente, provisiones adicionales están disponibles para recolección, *display* o reprogramación de partes de programas, instrucciones de operación o datos relacionados al proceso NC.

En general, existen dos áreas de aplicación en las cuales el DNC ha mostrado ventajas específicas. Primero, el concepto DNC se justifica regularmente en aplicaciones que tienen grandes cantidades de información de control que debe ser administrada, guardada y distribuida, muchos programas NC o muy complejos. El DNC facilita el manejo de gran cantidad de programas NC y ayuda a dejar de lado la posibilidad de usar el programa equivocado o que no sea la última versión de éste. Con DNC, los programas largos pueden cargarse rápidamente, eliminando las pérdidas de tiempo al usar medios mecánicos de transferencia de datos. Existe así una mayor eficiencia de las máquinas herramientas.

El concepto DNC también se emplea como el corazón del sistema de control para los llamados sistemas de producción flexible, en los cuales una serie de máquinas NC son unidas por medio de comunicaciones electrónicas de datos y automatización mecánica. Estos sistemas se utilizan para mecanizar familias de partes, y están equipados con un computador central, el cual dirige el flujo de partes a través del sistema y opera en un modo DNC, bajando los programas NC a alguna de las máquinas herramientas del sistema cuando ésta lo necesite.

7.5 Configuraciones de máquinas NC

El número de ejes o movimientos de máquina a los cuales se aplica comúnmente control numérico varía de dos a cinco. En general, las máquinas NC están agrupadas en dos clases: Máquinas de posicionamiento y máquinas de contorno. Las capacidades funcionales de ambos tipos de máquinas están explicadas en las siguientes secciones.

Los dos ejes de un sistema posicional representativo son los movimientos lineales longitudinales y transversales, ambos movimientos ocurriendo a 90° entre ellos. Ellos son respectivamente los ejes X e Y, y las posiciones de la mesa o superficie de trabajo se asumen conociendo las coordenadas rectangulares. El control de

dos ejes, si está provisto con la capacidad de contorneado, puede ser usado en el contorneado de dos dimensiones. Un tercer eje puede ser agregado aplicando control numérico a los movimientos de arriba y abajo del husillo de una fresa vertical o de un taladro. Éste se convierte en el eje Z. En los sistemas de contorneado, el tercer eje provee un control tridimensional para fresar cavidades en moldes u otros contornos en tres dimensiones.

Sistemas y máquinas posicionales

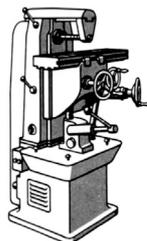
En su forma más simple, la máquina posicional tiene un control dimensional NC de la posición del cursor solamente. El avance y la velocidad de rotación pueden controlarse manualmente. Sin embargo, la mayoría de las máquinas posicionales modernas proveen velocidades, avances y otras funciones automáticas. A continuación se verán los cuatro sistemas más comúnmente usados por las máquinas posicionales.

- **Punto a punto:** una máquina punto a punto es una que mueve el cursor a un punto específico de la pieza en el cual la operación de mecanizado puede comenzar. En algunas máquinas se moverá solamente la herramienta, mientras que en otras se posicionarán tanto la parte como la herramienta simultáneamente. En primera instancia, el cursor se irá directamente al punto elegido, sin preocuparse de una eventual colisión en el camino.

- **Corte recto:** El corte recto es usado especialmente en cortes a lo largo de los ejes, pues es sobre ellos el único lugar donde puede mantener su velocidad constante.

- **Sistema de dos ejes:** En la Figura 7.1 se muestra una máquina de dos ejes capaz de fresar y taladrar. En una máquina punto a punto de este tipo la mesa, y por lo tanto la pieza de trabajo, se mueven tanto en el eje X como en el Y. La profundidad es controlada manualmente por el operador, porque no existe manejo NC del eje Z. Sin embargo, una máquina de este tipo puede entregar un sustancial beneficio económico, ya que el operador estará sólo preocupado de la profundidad y del cambio de herramientas.

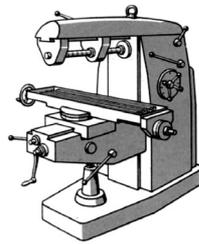
Figura 7.1. Máquina de dos ejes



Fuente: Bartsch, W. (1978). Herramientas máquinas trabajo: con ejercicios y ejemplos. Reverté.

• **Sistema de tres ejes:** una máquina posicional de tres ejes con una torre portaherramientas es lo que se muestra en la Figura 7.2. Esta máquina requiere un servo adicional para manejar el eje Z, conectado en paralelo a los ejes X e Y. En vista de que la máquina tiene una torre portaherramientas, la cual se maneja desde un programa de control, se puede mecanizar una pieza que requiera hasta ocho herramientas distintas, sin detener el ciclo para un cambio de herramienta. Esta máquina puede estar equipada también con un compensador de largo de herramienta, el cual permite memorizar el largo de cada herramienta y ajustar así la altura del porta-herramientas respecto de la pieza automáticamente al cambiar de herramienta.

Figura 7.2. Máquina de tres ejes



Fuente: Bartsch, W. (1978). Herramientas máquinas trabajo: con ejercicios y ejemplos. Reverté.

Sistemas y máquinas de contorno

Fresadoras, tornos y otras máquinas-herramientas pueden cortar perfiles muy complejos a través del uso de sistemas controladores NC de contorno. Los sistemas más comunes son:

- **Sistemas de contorno limitado:** estos sistemas han sido construidos incluyendo interpolación, pero no memoria. El desarrollo de estos sistemas ha sido pensado minimizando los costos del sistema de contorno. Debe hacerse notar que al no existir memoria, el avance programado y el avance real difieren significativamente, debido a que el promedio de velocidad es calculado instantáneamente por el sistema, y no de acuerdo a lo previamente estimado. Esto acorta significativamente la vida de la herramienta.

- **Sistemas de contorno total:** estos sistemas poseen interpolación y memoria. De esta manera se logra la linealidad en el avance, pues con los datos de posición y ángulo contenidos en la memoria el propio procesador calcula instantáneamente el movimiento que se debe realizar. La programación para el contorno debe ser realizada como un pequeño programa computacional. El programa recibe las instrucciones sobre medidas y direcciones, así como cuál debe ser la velo-

cidad en la ruta. Luego calcula los datos y dirige los movimientos del cursor con las constantes correctas tiempo/distancia. La interpolación puede ser lineal, circular o parabólica; esto depende de la capacidad específica del procesador.

Es importante dejar claro que la información sobre las coordenadas no es el único tipo de información que debe ser almacenada. De hecho, generalmente lo estará el bloque completo de información -coordenadas, avance, tipo de interpolación, necesidad de aceleración o desaceleración, y cualquier función miscelánea que deba ocurrir-. De esto se puede concluir que para pasar de un sistema limitado a uno de contorneado total no es tan fácil como llegar y agregar una caja que diga “memoria”. Además de esta unidad de almacenamiento, se requieren variados circuitos para el encendido y funcionamiento continuo de los datos en la unidad.

Otro concepto importante en la configuración de las máquinas NC es el tipo de posicionamiento. Los hay de dos tipos: Absoluto o incremental. En el primer tipo, la posición de la herramienta siempre está definida respecto a un origen fijo; en cambio, en el sistema incremental el punto de referencia para la siguiente instrucción es el punto final de la instrucción precedente. Los sistemas NC actuales permiten trabajar en ambos sistemas y en modo mixto.

Factores que influyen en la precisión de las máquinas NC

Existen dos conceptos de gran importancia en los sistemas de control numérico, éstos son la precisión y la repetibilidad.

La precisión es una medida de la capacidad del sistema NC para llevar la mesa de la máquina a una posición deseada. Esta característica depende del algoritmo de control del computador, de la resolución del sistema y de las imprecisiones de la máquina. La imprecisión del sistema debido a la resolución se puede considerar como un medio (la mitad) de este valor. A ésta se debe agregar la inexactitud de la máquina para obtener una cifra de la imprecisión global del sistema. Ésta se mide en BLU (Unidad Básica de Longitud).

La repetibilidad es un término estadístico que se refiere a la dispersión de las medidas en torno a la media cuando se realiza un experimento que consiste en repetir un número de veces una instrucción de mover la mesa una misma distancia. La repetibilidad de una máquina NC define la capacidad de producir piezas que no varíen dimensionalmente unas de otras. Los principales factores que influyen en la precisión de una máquina NC son:

- **La posible deflexión o deformación de la herramienta:** Ésta se produce porque en algunas zonas el material no es removido correctamente, por lo que se producen vibraciones que inducen a errores dimensionales y daños en la herramienta.

- **El tornillo sin fin que maneja los movimientos:** Influye enormemente en la precisión del sistema; cosas tan simples como la calidad del aceite que se esté usando. Otro factor importantísimo es el tipo de sinfín que se esté usando, si es de tipo convencional o de bolas recirculantes. El segundo tipo usa bolitas en vez de las tradicionales tuercas que rodean los sinfines (ver Figura 7.3), con lo que logra evitar el exceso de roce estático que se produce al iniciar el movimiento en el caso de las tuercas; el roce dinámico es también menor.

- **Las deformaciones térmicas:** Éstas se producen a altas temperaturas, ya sea por el proceso de mecanizado, la generación de calor de los motores o de la transmisión.

- **El tipo de motor:** El o los motores pueden ser de diferentes tipos; los más importantes son: los paso a paso, los de corriente continua y los de corriente alterna.

Figura 7.3. Tornillo sin fin de bolas recirculantes



Fuente: <http://ar.melinterest.com/articulo/MLA610135036-tuerca-de-bolas-recirculantes-r25-10t3-fsiw/>

Control adaptativo

En general, el control adaptativo (AC, *Adaptive Control*), a veces denominado control adaptativo automático (AAC), es un tipo de sistema que revisa automática y continuamente el progreso -en línea- de una actividad (un proceso u operación, por ejemplo) midiendo una o más variables de ella; comparando las cantidades con otras cantidades medidas, o calculadas, o estableciendo valores o límites; y modificando las actividades ajustando automáticamente una o más variables para mejorar y optimizar los resultados.

A pesar de que existe controversia respecto a cuál es la definición exacta de AC, particularmente en las aplicaciones de mecanizado, algunos expertos señalan que existen dos clasificaciones primarias: Control adaptativo para optimización (ACO, *Adaptive Control for Optimization*) y control adaptativo para limitación

(ACC, *Adaptive Control for Constraint*). Con ACO, los resultados de una operación son optimizados de acuerdo a su índice de funcionamiento (IP), el cual es usualmente una función económica, ya sea mínimo costo de mecanizado, máxima producción o máxima calidad. Los sistemas que usan ACO requieren tres funciones (identificación, decisión y modificación) para así poder ir comparando el proceso con el valor IP. Con ACC, las condiciones de mecanizado como velocidad del husillo y/o avance (usualmente solo avance) son maximizadas dentro de los límites prescritos de la máquina y la herramienta, como máxima potencia, toque, o fuerza. Este tipo de control es el más común en el trabajo de metales.

Hoy en día, las aplicaciones más exitosas de AC siguen siendo en la industria aeronáutica y aeroespacial. La experiencia en sistemas CAD/CAM, la cual es común en este tipo de industria de alta tecnología, complementa de gran manera el trabajo para incorporar exitosamente un sistema AC -el desarrollo de técnicas computacionales avanzadas y la estructuración de complejas bases de datos-. En general, se ha demostrado que el control adaptativo es más apropiado para las operaciones de mecanizado en piezas complejas de aleaciones difíciles de cortar y operaciones caracterizadas por significativas variaciones en los parámetros de mecanizado, como dureza o maquinabilidad, o cambios en las dimensiones de corte durante el proceso de mecanizado.

Existe una serie de tipos diferentes de sistemas AC actualmente, variando desde compensadores simples de herramientas automáticas hasta sistemas altamente sofisticados manejados por computador, los cuales monitorean y controlan una multitud de variables del mecanizado. De manera creciente, los sistemas probados están siendo ofrecidos como equipamiento estándar u opcional en equipos CNC y otra maquinaria. Los sistemas más conocidos son los de control dimensional automático, la tecnología de sensores láser y electroópticos y los sensores de desgaste de la herramienta.

7.6 Bibliografía

- Balle, M. (1995). *The Business Process Re-engineering Action Kit*, Kogan Page, London.
- Shuguang, L. and Rongqiu, C. "Understanding and implementing CIM through BPR". *International Journal of Operations and Production Management*, 18(11) 1998, pp. 1125-1133.
- Mathaisel, B. F. (1993). "Managing IS across borders", *Chief Information Officer Journal*, Vol. 5 No. 6, pp. 33-7.

Parte III

Capítulo 8

Introducción a la automatización

8.1 Introducción

¿Qué es automatización? Es una tecnología que trata con la aplicación de: Mecatrónica y Computadoras para la producción de bienes y servicios. La automatización es ampliamente clasificada en: Automatización de la manufactura y Automatización del servicio. En este capítulo abordaremos la automatización en la manufactura y por ello con los bienes de producción. Ejemplos de automatización de la manufactura incluyen:

- Herramientas mecánicas automáticas para procesar partes
- Máquinas ensambladoras mecánicas
- Robots industriales
- Manejo de materiales automático
- Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación
- Sistemas automáticos de inspección
- Sistemas de control y retroalimentación
- Sistemas computacionales para el diseño y análisis de productos
- Sistemas computacionales para la transformación automática de diseños en partes
- Sistemas computacionales para el soporte a la planeación y toma de decisiones en la manufactura

8.2 Tipos de automatización

Automatización fija

La automatización fija se refiere al uso de equipo ingenieril personalizado (de propósito especial) para automatizar una secuencia fija de operaciones de procesamiento y ensamble. La automatización fija esta típicamente asociada con altas tasas de producción y es relativamente difícil realizar cambios en el diseño de productos. Este tipo de automatización es también llamada automatización dura. Por ejemplo, GE manufactura aproximadamente 2 billones de focos por año y usa ampliamente equipo automatizado de alta velocidad. La automatización fija tiene solamente cuando el diseño de productos es estable y el ciclo de vida de productos es largo. Los inconvenientes primarios son la gran inversión inicial en equipo y la relativa inflexibilidad.

Automatización programable

En la automatización programable, el equipo es diseñado para asignar una clase específica de cambios en el producto y las operaciones de procesamiento o ensamble pueden ser cambiadas modificando el programa de control. Este tipo de automatización es particularmente situable para la “producción en lotes” (*batch production*), o la manufactura de un producto en lotes de tamaño medio (generalmente en

intervalos regulares). El primer ejemplo de esta clase de automatización es la tejedora Jacquard (1801) donde los patrones de tejido podían ser “preprogramados”. Una vez que la cantidad requerida por la fábrica era producida, la tejedora podía ser reprogramada (aunque este era un proceso tedioso) para producir un nuevo patrón para el siguiente lote. Un ejemplo más reciente es el torno de CNC que produce un producto específico de una cierta clase de productos (asimétricos, con cierto diámetro, longitud, tolerancia, etcétera) de acuerdo al “programa de entrada”. En la automatización programable, reconfigurar el sistema para un nuevo producto consume mucho tiempo, dado que involucra la reprogramación e iniciación de las máquinas, y nuevos ajustes y herramientas.

Automatización flexible

En la automatización flexible, el equipo es diseñado para manufacturar una variedad de productos o partes, y realmente poco tiempo es gastado en el cambio de un producto a otro. Por ello, un sistema flexible de manufactura puede ser usado para manufacturar varias combinaciones de productos de acuerdo a un programa específico. Con un sistema de automatización flexible es posible incorporar rápidamente cambios en el producto (el cual puede ser rediseñado en reacción a cambios en las condiciones del mercado y a la retroalimentación del cliente) o rápidamente introducir una nueva línea de productos. Por ejemplo, Honda es ampliamente reconocida por el uso de tecnología automatización flexible mediante la cual introdujo 113 cambios en sus líneas de producción de motocicletas en los años 1970. La automatización flexible proporciona al manufacturero la habilidad de producir múltiples productos de manera económica en conjunto que separadamente (donde el volumen de productos no es suficientemente alto para justificar dedicar una simple línea de producción a un simple producto). La Tabla 8.1 muestra una relación de las ventajas y desventajas de los distintos tipos de automatización.

Tabla 8.1 Tipos de automatización: Ventajas y desventajas

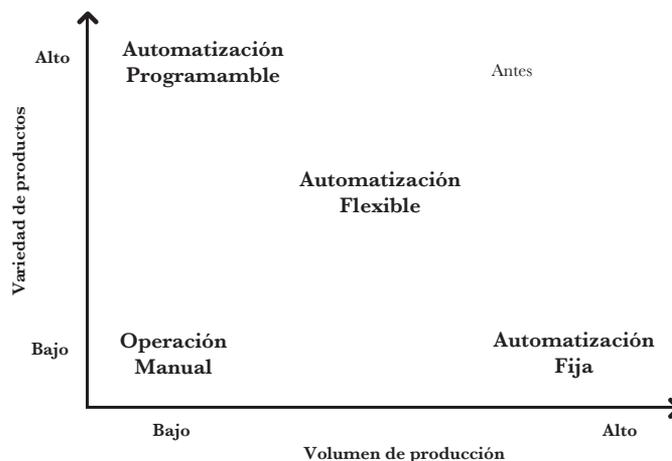
Automatización	Cuándo considerar	Ventajas	Desventajas
Fija	<ul style="list-style-type: none"> •Alto volumen de demanda •Largos ciclos de vida en los productos 	<ul style="list-style-type: none"> •Máxima eficiencia •Bajo costo unitario 	<ul style="list-style-type: none"> •Inversión inicial grande •Poca flexibilidad

Programable	<ul style="list-style-type: none"> •Producción por lotes •Productos con diferentes opciones 	<ul style="list-style-type: none"> •Flexibilidad para lidiar con cambios en los productos •Bajo costo unitario para lotes grandes 	<ul style="list-style-type: none"> •Los productos nuevos requieren tiempos de arranque largos •Costo unitario alto con relación en la automatización fija
Flexible	<ul style="list-style-type: none"> •Bajas tasas de producción •Demanda variable •Ciclo de vida de productos y costo 	<ul style="list-style-type: none"> •Flexibilidad para lidiar con variaciones en el diseño •Productos personalizados 	<ul style="list-style-type: none"> •Inversión inicial grande •Costo unitario alto en relación a la automatización fija o programable

Fuente: Elaboración propia

La Figura 8.1 muestra gráficamente la adecuación de los distintos tipos de automatización en su relación con la variedad de productos y el volumen de producción.

Figura 8.1 Relación variedad de productos-volumen de producción

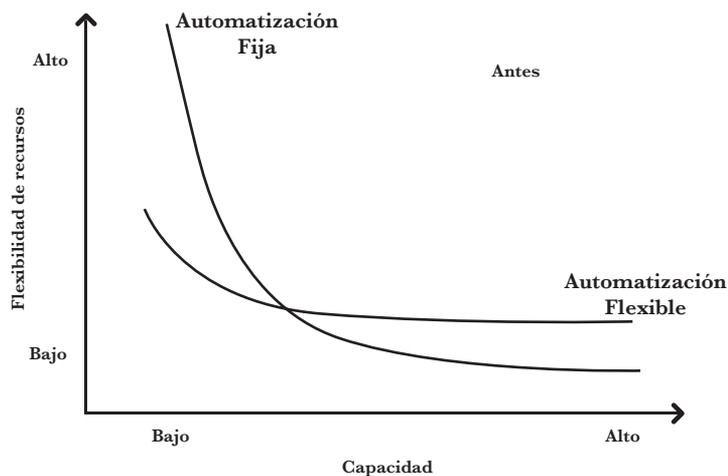


Fuente: Elaboración propia

La Figura 8.2 esquematiza gráficamente los tipos de automatización bajo los conceptos de intensidad de capital y flexibilidad de recurso. La intensidad del capital

es la mezcla de equipo y habilidades humanas en un proceso de producción; mientras mayor sea el costo relativo del equipo, mayor será la intensidad del capital. La flexibilidad de recurso es la facilidad con la cual el equipo y los empleados pueden manejar una amplia variedad de productos y volúmenes.

Figura 8.2. Tipos de automatización en relación a intensidad de capital y flexibilidad de recurs.



Fuente: Elaboración propia

8.3 Tipos de industrias manufactureras

Se tienen tres tipos básicos de industrias que manufacturan bienes:

Productores básicos

Toman los recursos naturales y los transforman en materias primas para otras empresas. Por ejemplo, los productores de acero convierten el hierro mineral en lingotes de acero. Alcoa (aluminio), Kennecott (cobre) y U.S. Steel (acero) son productores básicos.

Convertidores

Toman las salidas de los productores básicos y las transforman en productos industriales que pueden ser también productos de consumo. La forma física de esos productos no es complicada. Por ejemplo, los lingotes de acero pueden ser convertidos en hojas de metal o barras, la pulpa de madera puede ser convertida en papel. Kimberly Clark (papel), Motorola (chips), y Goodyear (llantas) son convertidores.

Fabricantes

Toman las salidas de los convertidores y fabrican y ensamblan los productos finales. Por ejemplo, las barras y hojas de acero pueden ser usadas para los componentes de un motor y las partes de un automóvil. Los plásticos pueden ser modelados en varias formas. General Motors (automóviles), Sun Microsystems (computadoras), y Boeing (naves aeroespaciales) son ejemplos de fabricantes. Claramente esta clasificación es muy simplista. Existen firmas que están involucradas en más de una actividad. Por ejemplo, Scout Paper Products hace papel (como un convertidor) y productos de papel como papel higiénico (como un fabricante). Conforme el volumen de los productos se incrementa, las operaciones de una firma abarcan más de una categoría. Esto es llamado integración vertical. Mientras más maneje su cadena de suministro el sistema de producción de una firma, mayor será el grado de integración vertical.

8.4 Tipos de producción

Se tienen tres tipos de producción en el conjunto de las industrias que manufacturan bienes:

Producción por partes

Este tipo de producción es usado para satisfacer órdenes específicas de los clientes y es generalmente caracterizada por bajos volúmenes. El equipo es de propósito general y el nivel de habilidad de los trabajadores es tal que pueden desempeñar un amplio rango de operaciones. Ejemplos de productos incluyen aviones, vehículos espaciales, algunas máquinas herramientas y prototipos de futuros productos.

Producción por lotes

La producción por lotes involucra la manufactura de productos en lotes de tamaño medio. Regularmente son producidos a intervalos regulares en una tasa de producción que excede la demanda. Cuando el inventario de productos merma, otro lote es producido. El equipo es de propósito general, pero es diseñado para una mayor tasa de producción que los equipos de producción por partes. Por lo general requieren de ajustes especiales o mantenimiento. La tecnología de automatización flexible es frecuentemente usada en la producción por lotes. Ejemplos de productos incluyen muebles, libros, y aparatos eléctricos de uso doméstico. Es estimado que poco más del 50% de la manufactura en Estados Unidos es de producción por lotes.

Producción en masa

La producción en masa involucra la manufactura de productos en lotes de gran tamaño. Esta es la manufactura continuamente especializada de productos idénticos que dirige a la automatización fija. Regularmente la planta entera se dedica a la manufactura de un solo producto. Hay dos clases de producción en masa:

- La manufactura de una simple parte en máquinas estándar (tornos, máquinas textiles, máquinas de modelado de inyección, prensas, etcétera) con el uso de herramientas especiales (discos, moldes) en porciones fijas llamadas cantidad de producción. Esta incluye tornillos, tuercas, clavos, focos, etcétera.
- La manufactura de productos complejos tales como motores de automóviles, quienes tienen que “fluir” a través de una secuencia de operaciones en dispositivos de manejo de materiales, es también llamada flujo de producción. El flujo de producción es algunas veces descrito como el proceso de producción de productos continuos en refinerías de aceite, plantas químicas y fábricas procesadoras de alimentos.

Personalización masiva

La personalización masiva es el proceso por el cual las empresas interactúan de uno a uno con las masas de sus prospectos y clientes, ofreciendo así productos y servicios personalizados de acuerdo a sus necesidades individuales y preferencias. Consiste en “ver a un individuo en cada cliente, en lugar de ver a un cliente en cada individuo”.

8.5 Tipos de distribución de planta

Distribución de planta de posición fija

El producto descansa en un lugar y el equipo usado en la fabricación es traído a él. Por ejemplo, en la producción de aeronaves, la manufactura del trasbordador espacial.

Distribución de planta por procesos

Las máquinas de producción son ordenadas en grupos de acuerdo al tipo de función que desempeñan. En una tienda de trabajo, los tornos están en un área, las máquinas tejedoras en otra y así sucesivamente. Esta es usada en la producción por lotes y en la producción masiva

Distribución de planta por flujo de producto

Cuando la planta se especializa en una clase de productos (por ejemplo, automóviles), las máquinas y otras instalaciones son organizadas para producir las diferentes partes y ensamblarlas tan eficientemente como sea posible. Las máquinas para el

procesamiento y ensamble son situadas a lo largo de la línea del flujo de productos y el trabajo en progreso es movido de una estación a otra.

Tecnología de grupos

La tecnología de grupos es una distribución de planta que logra la economía de la distribución por flujo de producto de un simple producto haciendo múltiples productos no similares en varias líneas de flujo de productos (Asfahl, 1992 pp. 449-452). La clave de la tecnología de grupos es el agrupamiento de partes similares para tomar ventaja de sus similitudes en el diseño y la manufactura. Un sistema de clasificación y codificación bien diseñado para las partes tiene las siguientes ventajas:

- Los grupos de partes celdas mecánicas pueden ser formados fácilmente;
- Proveer una mejor utilización de las máquinas;
- Facilitar la programación de máquinas de CNC;
- Permitir la planeación automática de herramientas, reducir tiempos de arranque y mejorar las tasas de producción;
- Proveer una fácil retroalimentación de diseños, dibujos y planes de proceso.

8.6 Razones para automatizar

Escasez de mano de obra

En los Estados Unidos, en 1995, la razón del número de trabajadores que hacían pagos al seguro social entre el número de jubilados que recibían sus cheques era de 3:1. Era esperado¹ que esta cifra aumentara a razón de 2:1 para el 2000. Cerca de la mitad de las compañías japonesas manufactureras han invertido en sistemas automatizados para arreglárselas con la escasez de la mano de obra. La mano de obra en Japón se estima presente un crecimiento de 0.4% anual del 1994 al 2000.

Alto costo de la mano de obra

En sociedades industrializadas los costos de la mano de obra han estado constantemente incrementando. Los costos de la mano de obra en Japón son 5% más altos que en Estados Unidos y poco más del 50% que en Reino Unido. El oeste de Alemania importa mano de obra barata para la realización de tareas domésticas. Los países menos industrializados no están tan lejos. Los costos de mano de obra en las compañías manufactureras taiwanesas se cuadruplicaron de 1974 a 1984, mientras

¹ Wall Street Journal, February 16, 1996. This figure was 35:1 when the social security system was first established in the 30's.

que los costos de mano de obra² en la manufactura coreana se duplicaron de 1979 a 1984, y se cuadruplicaron nuevamente entre 1984 y 1996.

Incremento de la productividad

Una mayor producción por hora de trabajo es más posible con la automatización que con operaciones manuales. Por ejemplo³, la colaboración de GM con Toyota en Fremont, California emplea 3 100 empleados en contraste con una planta comparable de GM que emplea 5 100.

La productividad es el factor más importante en la determinación del estándar de vida nacional. Si el valor de salidas/horas aumenta, los niveles de resultados aumentarán. Un incremento artificial en salarios dirige a la inflación, así que la productividad de los recursos humanos debe gobernar los salarios de los empleados.

Competencia

El objetivo de una compañía es incrementar sus ganancias. Sin embargo, hay otras medidas que son difíciles de medir. La automatización puede resultar en bajos precios, productos superiores, una mejor relación de trabajo, y una mejor imagen de la compañía. No automatizar (mantener el status quo) puede ocasionar una competencia más reñida para acaparar un mayor mercado compartido y ventas. Por ejemplo, Honda se pudo defender de Yamaha en el mercado de las motocicletas siendo capaz de producir o reemplazar 113 modelos en 18 meses⁴.

Seguridad

La automatización permite a los empleados asumir un rol supervisorio en lugar de estar directamente involucrados en las tareas de manufactura. Por ejemplo, la prueba de dados calientes y peligrosos y las piezas de trabajo son algunas veces muy pesadas. De hecho, el primer robot industrial fue usado por General Motors en 1961 para la automatización de prueba de dados⁵. Soldar, pintar con *spray* y otras

² D. Kahaner, "Robots and use in Japanese industry", U.S. Office of Naval Research Asia report, 1991 (<ftp://ftp.cs.arizona.edu/japan/kahaner.reports/robots>).

³ "Crisis is Galvanizing Detroit's Big Three", Wall Street Journal, May 2, 1991.

⁴ A final de los años 70's Honda y Yamaha tenían cada quien 60 modelos de motocicletas. En un periodo de 18 meses, Honda introdujo o reemplazó 113 modelos mientras que Yamaha sólo pudo administrar 37 cambios en su línea de producción. El liderazgo de Honda en el mercado de las motocicletas es atribuido a esta estrategia (Krajewski and Ritzman, 1996).

⁵ Robotics World, October, 1986.

operaciones pueden ser nocivas para la salud. Las máquinas pueden también hacer esos trabajos de una forma más precisa y lograr una mejor calidad de productos.

Reducción del tiempo de entrega de manufactura

La automatización permite a los manufactureros responder rápidamente a las necesidades de los clientes. Toyota y Honda son capaces de introducir nuevos modelos (diseños preliminares para manufacturar un carro) en un rango de 13 a 18 meses. Esta cifra es de 21 meses para Detroit y más de 24 meses para las compañías europeas automovilísticas. Segundo, la automatización flexible también permite a las compañías manejar frecuentes modificaciones a los diseños. Por ejemplo, en los primeros 18 meses después de la introducción de un nuevo freno de compresión en Cummins Diesel Engines, hubo 14 cambios de diseño, con una estimación anual de gastos en \$ 300 000 USD, y el tiempo en el mercado en 2 años (Krajewski and Ritzman, 1996 pp. 108).

Reducción de costos

Además de reducir los costos de mano de obra, la automatización puede disminuir la tasa de desperdicios y con ello reducir los costos de materiales. Esto a su vez permite la manufactura justo-a-tiempo la cual permite a los manufactureros reducir el inventario en proceso. Esto hace posible mejorar la calidad de los productos a un costo bajo.

8.7 Razones para no automatizar Resistencia de los trabajadores

Las personas ven a los robots y a la automatización de la manufactura como una causa del desempleo. En realidad, el uso de robots incrementa la productividad, hace a la empresa más competitiva y preserva los trabajos. Pero algunos trabajos son perdidos. Por ejemplo, Fiat redujo su fuerza de trabajo de 138 000 a 72 000 empleados en nueve años por la inversión en robots (Krajewski & Ritzman, 1996). La planta altamente automatizada de GE en colaboración con Toyota en Fremont, California emplean 3 100 en contraste con los 5 100 de una vieja planta comparable de GM. Por el otro lado, la causa real de despidos hoy en día no es la automatización o la migración de trabajos debido a los bajos salarios. La mayor causa de despidos en 1995 fue atribuida principalmente a la competencia, fusiones y recortes presupuestales del gobierno.

Costos de actualización de mano de obra

Las tareas monótonas y rutinarias son las más fáciles de automatizar. Las tareas que son difíciles de automatizar son aquellas que requieren habilidades. Por ello la labor

de manufactura debe ser actualizada. Por ejemplo, Chrysler emplea en su planta CIM en Sterling Heights, Michigan cerca de 900 000 horas de entrenamiento para sus empleados.

Inversión inicial

Las consideraciones de flujo de efectivo pueden hacer difícil una inversión en automatización, aún si la tasa estimada de rendimiento es alta.

Administración de los procesos de mejora

- Los activos intelectuales (fuerza de trabajo) y tecnológicos no pueden ser separados. Aunque una buena fracción de los trabajadores sean ingenieros y sean ellos mismos flexibles (educados en máquinas de CNC, CAD, robótica, etcétera), es difícil usar sistemas flexibles de manufactura efectivamente.

- Un apropiado uso de la tecnología es importante. De acuerdo con un estudio de sistemas flexibles de manufactura hecho en Estados Unidos y Japón en los años 80, las compañías americanas usaban FMSs para producción de alto volumen de pocas partes en lugar de alta variedad de productos de muchas partes a un bajo costo por unidad (ver Tabla 10.2).

- Trabajadores pobremente entrenados o motivados pueden causar daño (como los accidentes nucleares en Chernobyl y Three Mile Island).

- Mientras que el uso de la tecnología disponible puede mejorar la producción, es importante ver más allá del óptimo local y no perder el enfoque de la meta principal de generar ganancias. Por ejemplo, la automatización puede fácilmente incrementar la tasa de producción y mejorar la eficiencia de una estación de trabajo o centro de trabajo pero causar cuellos de botella⁶ (*bottlenecks*) de todas formas. Esto a su vez ocasionará un incremento de inventarios que conlleve a una posible reducción de ganancias.

- Cuando de inician cambios con nueva tecnología, es importante adoptar un “enfoque sistémico” en la planta para evitar errores costosos. Por ejemplo, cuando GM inicio Buick City, instaló 250 robots con un sistema de visión para montar parabrisas. desafortunadamente, los robots pasaban por alto los carros negros porque no los podían ver muy bien. GM terminó por reemplazar 30 robots con humanos.

- La incompatibilidad del equipo tiende a ser la mayor razón para evitar la automatización. Por ejemplo, si se tiene una gran inversión en vieja tecnología que es exitosa pero incompatible con la nueva tecnología.

⁶ Un cuello de botella es un recurso de una planta cuya capacidad es igual o menor que la demanda establecida.

Tabla 8.2 Comparación de los sistemas flexibles de manufactura en los Estados Unidos y en Japón en 1984

	Estados Unidos	Japón
Tiempo de desarrollo del sistema	2.5 a 3.0 años	1.25 a 1.75 años
Tipos de partes producidas	10	93
Volumen anual por parte	1,727	258
Número de nuevas partes introducidas por año	1	22
Número de sistemas con XXXX operación	0	18
Tiempo promedio de corte de metal por día	8.3	20.2

Fuente: Elaboración propia

¿Qué modelo de producción es más conveniente para las empresas?

Mass Production VS Continuous Improvement VS Mass Customization

El modelo tradicional de la producción en masa involucra control jerárquico. Los trabajadores repiten tareas estrechamente definidas bajo supervisión cercana. Tal modelo de producción en masa es aplicado a productos estandarizados de bajo costo (y servicios). En contraste con este, se encuentra el modelo de mejora continua donde los equipos *cross* funcionales con algún grado de autoridad (y autonomía) luchan constantemente para mejorar los procesos. Los administradores son guías, dirigen y motivan a los equipos. Esos modelos son mejor situados para bienes y servicios estandarizados de alta calidad. La personalización masiva es un modelo para productos personalizados de bajo costo y alta calidad. Este modelo requiere flexibilidad y rápida respuesta. Las personas, procesos, recursos y tecnología son continuamente reconfigurados para dar al cliente exactamente lo que desea. El control es descentralizado y los administradores coordinan independientemente individuos capaces.

8.8 Bibliografía

- Asfahl, C. R. *Robots and Manufacturing Automation*. J. Wiley and Sons, 1992.
- Ayers, R. U. and S. M. Miller. *Robotics: Applications and Social Implications*. Ballinger Publishing Company, 1983.
- Engelberger, J. *Robotics in Service*, M.I.T. Press, Cambridge, 1989.
- Groover, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall, 1987.
- D. Kahaner, "Robots and use in Japanese industry", U.S. Office of Naval Research Asia report, 1991 (<ftp://ftp.cs.arizona.edu/japan/kahaner.reports/robots>).
- Fox, P. "Automation: crossing the final frontier". *Assembly Automation*, Vol. 21 No. 2, 2001, pp. 111 – 114.
- HBR "Manufacturing Renaissance", Ed. G. Pisano and R. Hayes, A Harvard Business Review Book, 1995.
- Krajewski, L. J. and L. P. Ritzman. *Operations Management: Strategy and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- Madu, C. N., Georgantzas, N. C. "Strategic Thrust of Manufacturing Automation Decisions: A Conceptual Framework". *IIE Transactions*, Vol. 23 No. 2, Jun 1991, pp. 138 – 148.
- Fox, P. "Automation: crossing the final frontier". *Assembly Automation*, Vol. 21 No. 2, 2001, pp. 111 – 114.
- Madu, C. N., Georgantzas, N. C. "Strategic Thrust of Manufacturing Automation Decisions: A Conceptual Framework". *IIE Transactions*, Vol. 23 No. 2, Jun 1991, pp. 138 – 148.

Parte III

Capítulo 9

Introducción a la robótica industrial

9.1 Introducción

El Webster define la palabra robot como: "Un aparato automático o dispositivo que desempeña funciones ordinariamente adscritas a los humanos u opera con lo que aparenta casi inteligencia humana".

El Robotics Institute of America define la palabra robot como: "Un robot es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados para el desempeño de una variedad de tareas".

Algo de historia

La palabra robot tiene sus orígenes en la palabra Checa *robota* que significa trabajador. El término fue primeramente introducido por el autor Karel Capek en 1920, y posteriormente fue popularizado por Isaac Asimov en la ciencia ficción a finales de los años 1940 y principios de los 1950. Subsecuentemente las películas hollywoodenses ampliaron su difusión.

Los inicios de la mecanización y la automatización pueden ser trazados desde la revolución industrial. El primer ejemplo de completa mecanización data del desarrollo de la tejedora Jacquard (posteriormente llamada la tejedora de seda Joseph María Jacquard) usada en la industria de la seda en Francia e Italia a principios del siglo XIX. Estas tejedoras podían ser mecánicamente reprogramadas para producir diferentes patrones. Sin embargo, esas tejedoras eran máquinas simples. No existe noción de que las tejedoras presentaran inteligencia. Además, el proceso de programación podía ser muy tedioso, particularmente para patrones complejos, y tenía que ser hecho manualmente.

Los siguientes 100 a 150 años vieron varias soluciones innovadoras de ingeniería para solucionar problemas industriales. Una grúa rotatoria equipada con una banda motorizada para remover lingotes calientes de un horno fue desarrollada por Babbitt en 1892. Pollard inventó una pistola mecánica para rociar pintura en 1938.

El primer teleoperador, un dispositivo que permitía al operador desempeñar una tarea a distancia, separado del ambiente en el cual el trabajo era desempeñado, fue desarrollado por Goertz¹. Este fue diseñado para manipular materiales radioactivos. El operador estaba separado de la tarea radioactiva por una pared de concreto con puertos de visión. Dos controles en el lado "maestro" permitían al operador

¹ Goertz, R. C., "Manipulators used for handling radioactive materials," Human Factors in Technology, Chapter 27, Ed. E. M. Bennet, McGraw-Hill, 1963

manipular un par de tenazas en el lado “esclavo”. Tanto los controles como las tenazas estaban unidos mediante un mecanismo de varios grados de libertad que permitían al operador manipular las tenazas. En 1947, el primer teleoperador controlado por un mecanismo de potencia eléctrica fue desarrollado. La parte esclava no necesitaba estar unida a la parte maestra. En lugar de ello, el movimiento en la parte maestra era medido por sensores y usado para manejar efectadores electrónicos en el lado esclavo.

Alrededor de este tiempo, la primera gran computadora electrónica a gran escala (ENIAC) fue construida en la Universidad de Pensilvania (1946), y la primera computadora digital multipropósito (Whirlwind) resolvió su primer problema en el MIT (Massachusetts Institute of Technology). La primera máquina controlada numéricamente surgió al momento de combinar por primera vez una tecnología servo-sistémica con computadoras digitales. La primera máquina fue demostrada en 1952 (KCN 89). La era del robot comenzó con la demostración del primer manipulador con memoria de recuperación por George Devol en 1954. El dispositivo era capaz de exhibir movimientos repetidos “punto-a-punto”. Cinco años después, el primer robot que eventualmente dirigió al primer robot industrial fue desarrollado. El primer robot industrial fue desarrollado por Unimation Inc. Este combinaba los aspectos repetitivos de las máquinas controladas numéricamente con tecnología servo-control y los mecanismos articulados de los teleoperadores. En 1962, General Motors instaló el primer robot Unimate en la aplicación de discos en una de sus líneas de ensamble.

Los 1960 también presentaron avances en el desarrollo de máquinas caminantes usando la misma tecnología. En 1967, Ralph Moser de la General Electric desarrolló un vehículo de cuatro piernas con el financiamiento del Departamento de Defensa de los E.E.U.U. El vehículo era operado de forma muy similar a los teleoperadores eléctricos de finales de los 1940. Un operador humano con controles manuales (en el fin maestro) para coordinar las múltiples uniones de las piernas (el fin esclavo). La tarea de coordinación era muy tediosa, y los problemas asociados con la estabilidad al caminar nunca fueron del todo resueltos. En 1983, Odetics Inc., una compañía norteamericana desarrolló un dispositivo con seis piernas que podía caminar sobre obstáculos mientras cargaba de 2 a 3 veces su peso. Dado que este vehículo no era teleoperado (en el sentido de los teleoperadores de Geortz o GE), tenía que ser controlado por un operador humano.

En 1985, la primera máquina caminante autónoma fue desarrollada en la Universidad del Estado de Ohio. El vehículo de suspensión adaptiva (ASV) fue un concepto prototipo de un vehículo con piernas diseñado para operar en un terreno accidentado que no pudiera ser navegado por vehículos convencionales. Las características físicas de este dispositivo eran una altura de 3.3 metros y un peso de 3

200 kilogramos. Este podía ser operado en un modo de control supervisado (de la misma manera en que un humano monta un caballo) o en un modo autónomo. Este poseía más de 80 sensores, 17 tableros de computadoras simples y un motor de 70 hp. Este tenía tres actuadores en cada una de sus seis piernas lo que le proveía de un total de 18 grados de libertad. Los 18 grados de libertad eran hidráulicamente puestos en movimiento a través de una configuración hidrostática. El sensor más importante era un escáner óptico de rangos con una fase modulada, con un rango aproximado de 30 pies y una resolución de 6 pulgadas. También estaba equipado con paquetes de sensor de inercia contenidos en un giroscopio vertical para el tono, y un acelerador lineal para proveer información que determinara la velocidad del cuerpo y su posición.

En diciembre de 1996, Honda mostró que el Humanoide Honda, un robot con dos piernas y dos brazos que fue diseñado para usarse en un ambiente doméstico típico. El prototipo de 210 kg tenía 30 grados de libertad. Estaba equipado con cámaras, giroscopios, medidores de aceleración y sensores de fuerza en las manos y pies. Era capaz de caminar, trepar unas escaleras, sentarse en una silla, pararse de su posición de sentado y levantar un peso de 10 libras.

9.2 Robot: definición y anatomía

El robot es un dispositivo controlado por computadoras que combina la tecnología de las computadoras digitales con la tecnología del servo-control de las cadenas articuladas. Debe ser fácilmente reprogramable para desempeñar una variedad de tareas, y debe tener sensores que le permitan reaccionar y adaptarse a las condiciones cambiantes.

La mayoría de los robots industriales satisfacen esta definición. Ellos básicamente sirven para eliminar la necesidad de altos costos de equipo especializado en la industria manufacturera. Sin embargo, pueden requerir herramientas caras y especializadas. Hay quienes, tal vez influenciados por la ciencia ficción de Asimov y las películas de Hollywood, pudieran argumentar (claro está que erróneamente) que un robot debe tener sentido y ser capaz de tomar decisiones y actuar basado en estos sensores de información, como solo un humano lo puede hacer. Esta definición aunque aún no factible (fuera de proporción) es la meta de muchos de los investigadores relacionados con el campo de la robótica. Si bien es cierto que un robot industrial es muy exitoso en el desarrollo de tareas simples repetitivas, como líneas de ensamble, aun así no se ajustan a la definición futurista.

Los robots son máquinas automatizadas, en forma de herramientas automatizadas para el manejo de materiales o de máquinas para procesos como soldado o pintura. Su utilización debe decidirse después de un cuidadoso análisis económico, en el marco de un programa de automatización general y buenas prácticas de ma-

nufactura. En general su implementación para seguir el ritmo de las tendencias de los competidores por sí sola tiende al fracaso. El personal que trabajará con robots debe ser especialmente sensibilizado, en el sentido de la típica comparación entre humanos y robots. Es cierto que en general la implementación de estos sistemas reemplaza parte de la fuerza laboral humana, pero no lo hace en mayor grado que otros avances tecnológicos en el área de la automatización.

Descripción de los sistemas robóticos

Un robot es una compleja máquina que está compuesta por cuatro subsistemas mayores:

- Manipulador
- Sistema de potencia
- Sistema de control
- Herramientas del extremo del brazo

El manipulador o brazo es el dispositivo físico usado para mover la herramienta (muñeca y *end-effector*) o carga útil desde un lugar a otro. Este manipulador es manejado por el sistema de potencia, a través de un movimiento programado almacenado en el sistema de control. La muñeca, montada en el extremo del brazo, permite pequeños cambios de orientación del *end-effector* y lo sostiene. El *end-effector* es en general, la interface entre el robot y la operación de manufactura. La muñeca es considerada parte del aparejo de herramientas del extremo del brazo, ya que es casi tan especializada en su aplicación como el *end-effector*.

Especificaciones. Las especificaciones generales de un robot incluyen: requerimientos ambientales, dimensiones físicas, requerimientos eléctricos, dimensiones del volumen de trabajo, carga útil, velocidad, precisión, repetibilidad en cada eje para diferentes condiciones de trabajo. Las especificaciones de la muñeca y de las herramientas del extremo del brazo se indican en forma separada.

Estándares. En la industria de los robots se ha buscado la estandarización para aumentar la seguridad, intercambiar información científica, tener estadísticas confiables acerca del uso de robots confiables, apoyar al comercio de robots y fomentar la educación y entrenamiento. Por ello existen símbolos gráficos introducidos por la ISO, pero su uso no es absoluto.

Manipulador. El manipulador es un ensamblaje de eslabones y articulaciones que permiten rotación o traslación entre dos de los eslabones. Estos eslabones son sólidos y son sostenidos por una base (horizontal, vertical o suspendida), con una articulación entre la base y el primer eslabón. El movimiento y las articulaciones definen los “grados de libertad” del robot. Una configuración típica de un brazo

robot es la de tres grados de libertad, a la que se añaden las posibilidades de movimiento en la muñeca, llegando a un total de cuatro a seis grados de libertad. Algunos robots tienen entre siete y nueve grados de libertad, pero, por su complejidad, son menos comunes. La base es rígida y está sujeta a una plataforma que la sostiene, generalmente, pero no siempre, el suelo. Cuando se puede mover, comúnmente lo hace a lo largo de un eje y es para sincronizar el movimiento del robot con el de otros equipos. De esta manera el movimiento de la base sumado al movimiento tridimensional del manipulado proporcionan cuatro grados de libertad.

Las distintas posiciones y movimientos se logran con las diferentes relaciones entre las articulaciones y los eslabones. La superficie definida por el máximo alcance del extremo del manipulador es llamada volumen de trabajo, mediante él se suele identificar la configuración de un robot. Las configuraciones típicas en este sentido son la cartesiana, cilíndrica, esférica o antropomórfica. Dentro de ellas se destacan por su flexibilidad el sistema polar y el de brazo articulado (antropomórfico). Por esto la mayor parte de los robots usados para acabados y soldadura por punto en la industria automotriz son de estos dos tipos.

La otra forma de clasificar los manipuladores se refiere al movimiento de la articulación, estas pueden ser:

- Transversales, el eslabón que se mueve lo hace en forma perpendicular al eslabón que lo sostiene.
- Rotacionales, el eslabón rota en torno a un eje perpendicular a él.
- Telescópicas, el eslabón se mueve paralelamente al soporte, en el mismo sentido.
- Pivotaes, el eje de rotación es perpendicular al eje del eslabón.

Sistemas de potencia

Los subsistemas de poder tienen como misión proveer del poder necesario para mover el manipulador. Las posibilidades para proveer esta fuerza son los sistemas eléctricos, neumáticos e hidráulicos. Dentro de estos tres, los más importantes son los eléctricos, debido a su confiabilidad, limpieza y el grado de conocimiento que se tiene de ellos. La relación entre capacidad de carga y velocidad es de un orden aceptable, con ventajas económicas comparativas. Con algunos accesorios de seguridad pueden ser operados sin riesgo en ambientes inflamables. Uno de los inconvenientes que presentan es que en general los sistemas de transmisión de potencia de alta precisión son caros y están sujetos a inexactitudes cuando se desgastan. Los *harmonic drives* son sistemas más precisos que los trenes de engranajes tradicionales.

Los sistemas hidráulicos se usan en robots grandes que deben manejar cargas útiles pesadas, además pueden ser usados en medios hostiles o inflamables con

seguridad. Este tipo de robot constituye aproximadamente el 25% de la producción total. Las aplicaciones de los sistemas neumáticos son más limitadas, ya que, al trabajar con un gas compresible (aire) la exactitud se restringe a los extremos del recorrido. En general son usados por los robots tipo *pick-and-place*, o de secuencia fija con notorias ventajas económicas en relación a los otros sistemas disponibles. Su representación en el mercado alcanza el 10%.

El motor eléctrico como fuente de potencia

La mayoría de los robots eléctricos usan *stepper-motors*, servomotores de corriente continua o servomotores de corriente alterna. Los sistemas de control y retroalimentación pueden diferir dependiendo del motor usado. Los robots que usan *stepper-motors* pueden funcionar como un ciclo de *loop* abierto. Un motor dado tiene una desviación angular específica para cada pulso eléctrico que recibe. Estos motores varían desde 15 grados/pulso (24 pulsos por revolución) hasta 0,5 grados/pulso (720 pulsos por rev.). El control sobre el motor debe hacer que éste acelere durante un apropiado número de pulsos, se mueva durante otra cantidad de pulsos y desacelere el motor hasta detenerse, alcanzando la desviación angular deseada con un cierto número de pulsos. El sistema de control determina el número de pulsos y el desfase angular deseado, por otra parte, el tamaño de los pasos está dado por el diseño del motor.

Si el motor deja de rotar siguiendo el patrón de desfase angular, incurrirá en un error cuya magnitud quedará definida por la diferencia entre el desfase angular programado y el real. Ya que la mayoría de estos motores funciona con *loop* abierto, el controlador no es capaz de notar cuando un pulso es pasado por alto y no registra la imprecisión. Esta es la mayor desventaja que presenta este tipo de motor. Los motores de pulso de *loop* cerrado no presentan este inconveniente y pueden lograr ser tan precisos como los sistemas servo. Además de esto, estos sistemas tienen poca potencia.

Los motores de corriente continua y alterna usan sistema servo con *loop* cerrado. Las diferencias en relación a los motores convencionales similares se remiten al diseño del rotor (menor diámetro para tener un menor momento de inercia y un mejor control), a un mayor diámetro del alambre de la bobina para una menor pérdida de energía en forma de calor, y a una mayor sensibilidad a cambios en el voltaje para un mejor control del torque y velocidad, especialmente en el arranque.

En los robots de tipo medio se usan en forma extensiva los servomotores de corriente continua de magneto permanente. Las características de velocidad y torque presentadas por estos motores tienen un carácter bastante lineal. También existe una serie de servomotores de corriente alterna que muestran estas mismas características y son en general motores de corriente continua sin escobillas. Además de estas cualidades, se busca que el motor usado responda linealmente a cambios

de voltaje, los sistemas de control pueden corregir las desviaciones de linealidad, pero se prefiere no corregir fallas de hardware mediante software. Los motores de corriente continua existen en una variada gama de potencias a un precio relativamente bajo, por otro lado los controladores para los servomotores de corriente alterna son más caros pero estos motores no están sujetos al desgaste de las escobillas y tienen menores gastos de mantención.

En cuanto a la forma en que se transmite la potencia, es importante contar con reductores potentes, pero de peso y tamaño reducidos, para no perder potencia ni capacidad de carga. Los tornillos sinfín que se usan son de rosca doble o triple, pero en el último tiempo ha aumentado la utilización de los tornillos de bolas recirculantes. Estos presentan ventajas en cuanto a la predictibilidad de su vida útil, eficiencia, precisión y bajo torque de arranque.

Sistemas hidráulicos

Los sistemas de potencia hidráulicos fueron usados ampliamente en los primeros robots, pero su empleo ha disminuido notoriamente con el paso del tiempo. Las unidades hidráulicas se destacan por el gran peso que pueden manejar, la alta velocidad de operación y su construcción con componentes más económicos que los motores eléctricos. El dispositivo de servocontrol dirige el sistema hidráulico mediante servoválvulas, éstas proporcionan una buena sensibilidad a los cambios en el voltaje con un corto tiempo de respuesta. Debido a la rapidez de operación de estas válvulas y por la histéresis del sistema, la presión dentro del circuito hidráulico puede llegar a ser hasta cinco veces mayor que la presión de operación típica. Una de las limitaciones de la precisión y repetibilidad de los sistemas hidráulicos es la fluctuación de las temperaturas alcanzadas por el aceite. La falta de exactitud y repetibilidad no es un problema para tareas como el soldado y la pintura, pero sí lo es en el ensamblaje o pintura de detalles.

Cuando se hacen movimientos pequeños, la fricción en las barras puede causar un indeseado movimiento discontinuo o a tirones. Esta falencia puede ser disminuida con un adecuado mantenimiento del equipo y, en general el roce en el pistón no produce inexactitudes, salvo en el caso mencionado. El servocontrol del sistema hidráulico es sensible a la suciedad y a las pequeñas partículas de polvo, mucho más que los sistemas hidráulicos convencionales. Al producirse oxidación, se liberan partículas que dificultan el correcto funcionamiento del control. Este fenómeno se reduce usando aceites de alta calidad y manteniéndolos muy limpios, evitando además el desgaste y recalentamiento. Otra desventaja de estos sistemas es el menor conocimiento que se tiene acerca de ellos y el menor número de técnicos especializados en los controladores y servoválvulas.

Sistemas neumáticos

La utilización de estos sistemas está restringida a los robots del tipo *pick-and-place* y puede ser utilizado en una base servo, pero sólo se hace en muy pocos casos. En general estos dispositivos actúan contra paradas mecánicas, o con interruptores de distintos tipos que señalan los límites del recorrido. Los sistemas mecánicos usan menor potencia que los hidráulicos o eléctricos y mueven robots con cargas útiles livianas. En resumen, los sistemas neumáticos son útiles y rápidos manejando cargas livianas en robots tipo *pick-and-place*, pero ese es su límite, para aplicaciones más exigentes se debe recurrir a una de las otras posibilidades.

Subsistemas de control

El subsistema de control tiene tres funciones, en primer lugar dirige al sistema de potencia para que mueva al manipulador en una forma predeterminada. En segundo lugar, el sistema de control almacena uno o varios programas, así como la información recogida durante el proceso mismo del programa. En tercer lugar cuenta con diversos sistemas que permiten la comunicación, ingreso y egreso de datos, en forma de teclados, pantallas, medios magnéticos. En general se suele hacer una división entre sistemas convencionales y servocontrolados. También suele clasificarse a los controladores según su nivel tecnológico (bajo, medio, alto y adaptativo).

Dentro de los sistemas de baja tecnología se encuentran controladores del tipo *relais*, *air logic*, *drum sequencer*, PLC para controladores convencionales. El uso de microprocesadores es opcional. La reprogramación se hace *on-line*, toma tiempo y puede requerir ajustes mecánicos. Se usan típicamente en robots *pick-and-place* con cuatro grados de libertad y en general son unidades aisladas no integradas a redes de comunicación mayores. Los controladores de tecnología media se usan en servo-robots con control de punto a punto, generalmente con seis grados de libertad. Este tipo de robot no controla la trayectoria entre puntos, sólo están fijados los puntos de referencia para el movimiento. Poseen entradas y salidas (I/O) discretas, pero no tienen capacidades de comunicación computacional. Esta característica, junto con otras, como la interpolación lineal y circular y la programación *off-line* pueden ser agregados como opciones adicionales al robot.

Los controladores de robots de alta tecnología cuentan con más memoria, interfaz de comunicación computacional, coprocesadores y sensores inteligentes, de visión o tacto. Además de esto, los programas pueden ser modificados rápidamente. Los robots adaptativos son sistemas de alta tecnología con mayor capacidad sensorial y de interfaz. El nivel de inteligencia de esta tecnología es mayor, permitiendo su programación en forma adaptativa. Esto le permite al robot localizar, asir, mover o soltar objetos distribuidos al azar. Durante este procedimiento, el controlador

puede corregir la posición, velocidad y fuerza. De esta manera después de cierto tiempo el robot estaría capacitado para reconocer su ambiente y desenvolverse con soltura en él, interactuando con otras máquinas controladas por computador.

El uso de controladores CNC en robots presenta variadas ventajas en relación con su complementación con sistemas CAD/CAM. A través de estos últimos se puede definir el radio de acción del robot y sus tareas de forma eficiente, generando el código para el control numérico del robot. En general se puede asociar un sistema CNC de una máquina herramienta al sistema de un robot, ya que este último es programado como si se tratase de una máquina herramienta con cinco o seis grados de libertad, para controlar la orientación de la herramienta en operaciones como soldado, acabado, etcétera.

Manipulator sensing

Para poder trabajar con precisión, el controlador debe reconocer posiciones, calcular velocidades y aceleraciones para distintos movimientos rectilíneos o angulares. Para conocer las posiciones el robot cuenta con diversos sensores para controlar el manipulador, *encoders*, *resolvers*, *tachometer generators* y LVDTs. Todos estos sensores son evaluados según su capacidad de resolución, precisión, linealidad, rango, tiempo de respuesta y repetibilidad.

Los *encoders* ópticos son dispositivos digitales, que usan LEDs como transmisores y receptores (existen también otros tipos de transmisores y receptores) y están diseñados para el posicionamiento absoluto o incremental. Los *resolvers*, *tachometer generators* y LVDTs (*Linear Variable Differential Transformer*) son sistemas analógicos que funcionan a voltajes más altos y permiten el posicionamiento absoluto. Por sus características, necesitan además equipo adicional de conversión análogo-digital. Con base en las señales de salida de estos sensores, el controlador calcula el desplazamiento. La complejidad de estos cálculos y el poder requerido para el controlador dependen de la configuración del brazo del robot, siendo los más simples los cartesianos y los más complejos los de brazo articulado que necesita el mayor poder computacional. Para determinar el desplazamiento, los controladores ubican el punto inicial y cuentan el número de señales de encendido y apagado recibidas desde el encoder hasta el punto actual. Los *encoders* de cuadratura pueden indicar al controlador la dirección en que se está moviendo el motor o cilindro, y con base en la información proporcionada por este sensor, el controlador puede calcular la velocidad y la aceleración del movimiento. El *encoder* incremental proporciona sólo el conteo del desplazamiento, que debe ser procesado para obtener información más precisa y variada.

Generalmente el sistema de control no conoce la posición del manipulador o una posición de referencia (*home*), cuando el equipo se enciende. Por este motivo

antes de realizar cualquier tarea, se hace que el robot identifique su posición de referencia. El marcador del *encoder* se usa junto a interruptores de límite para definir una posición de referencia precisa. También existen *encoders* absolutos que permiten conocer la posición de cada articulación en cualquier momento, incluso al encenderse. Para estos *encoders* se utiliza el código binario o el código grey, este último tiene las ventajas de que para cualquier desplazamiento hay sólo un bit que cambia de encendido a apagado y sus capacidades de chequeo de error son mayores. Los *encoders* absolutos sólo son válidos para una revolución. Para mantener el posicionamiento absoluto completo, se usan dos de estos *encoders* unidos por engranajes apropiados o bien se usan con un circuito de conteo constante.

El *resolver* es un transformador rotatorio, compuesto por un rotor con la primera bobina, y dos pares de espirales estatores como segunda bobina, estas últimas con una desviación de 90° eléctricos entre ellas. De esta manera se generan dos ondas de salida, una curva de seno para la primera bobina y una de coseno para la segunda. En todo momento, la posición del rotor genera un voltaje específico en relación a las dos bobinas. La información recogida es procesada en forma simultánea, permitiendo la identificación de la posición absoluta del rotor. La dirección y velocidad de rotación pueden ser determinadas también por el análisis de las ondas obtenidas.

Resolver

Dentro de las ventajas del *resolver* se incluyen la fiabilidad y bajo ruido con un rango de señales de salida de 0-120 volts, la información de velocidad y una buena resistencia a las vibraciones. Sus desventajas son el tamaño, los cambios térmicos de impedancia y el alto costo de los equipos de conversión análogo-digital. Estos aparatos se comportan igual que los *encoders* absolutos para determinar posiciones absolutas, también requieren de un tren de engranajes para el posicionamiento absoluto constante.

- Sistemas de control de *loop* abierto. Estos sistemas están restringidos a unas pocas aplicaciones, como en los robots *pick-and-place* neumáticos, o los que son impulsados por *stepper-motors*. El costo de implementación de estos robots es más bajo, pero sus accesorios son caros. Además de esto sus principales inconvenientes son la falta del punto de referencia y la mala repetibilidad (aunque pueden ser precisos). Esto se debe a que si un eje pierde un paso, el error no será detectado y será arrasado por todo el sistema.

- Sistemas de control de *loop* cerrado. La mayoría de los robots son máquinas de *loop* cerrado, ya que llegan a niveles de exactitud y repetibilidad inalcanzables para las máquinas de *loop* abierto. Los sistemas de control de estas máquinas usan un microprocesador para generar la servoseñal para un eje dado y un servoam-

plificador para amplificar la señal y enviarla al mecanismo actuador (motor eléctrico, válvula o cilindro).

- Señales en *loop* cerrado. Para llegar al punto requerido el controlador recibe constantemente el *feedback* del movimiento, según éste ajusta el movimiento futuro. Dependiendo del grado de este ajuste se puede producir una sobreamortiguación, subamortiguación o amortiguación crítica, esto último es lo que se quiere lograr en la mayoría de los sistemas robóticos, para optimizar el tiempo de la operación. Las oscilaciones pueden ser un problema en todos aquellos trabajos delicados que exigen alta precisión. Para que el desempeño del robot sea el óptimo se debe revisar periódicamente, los sistemas eléctricos deben ser balanceados y los hidráulicos deben ser revisados y reseteados, aunque se vean sometidos a trabajos ligeros.

Programación

La programación de un robot se puede hacer de dos maneras, *on line* y *off line*. Una práctica común ha sido la programación *on line* usando un puntero de aprendizaje, o *teach pendant*, con el que se indican al computador del robot los distintos puntos que necesita conocer para llevar a cabo sus tareas. Para esta operación es de especial importancia el conocimiento práctico de los trabajadores directamente relacionados con la tarea que es programada.

La programación de esta manera no requiere de altos conocimientos, ni de un buen manejo de los sistemas de coordenadas y presenta claras ventajas económicas. En general la programación *on-line* es apropiada cuando los programas no se cambian frecuentemente, cuando se pueden aprovechar las horas en que no se produce para programar el robot o se pueda programar rápidamente durante la producción. También es deseable la opción de guardar los programas después de haber sido desarrollados y perfeccionados. No se programa de este modo cuando los tiempos requeridos son largos y entorpecen la producción.

Para la programación *off-line* se requiere de una inversión mayor y de conocimientos de los sistemas de coordenadas usados. Éstos pueden ser sistemas de coordenadas absolutos, basados en las articulaciones o en la herramienta. Usándolos, se debe establecer un mapa de posiciones de la celda completa, con todas sus estaciones. Las aplicaciones de esta técnica son mucho más amplias y están enfocadas a tecnologías más nuevas y robots más poderosos.

Dentro de las ventajas está la integración a sistemas CAD/CAM que además permiten hacer modelos, simulaciones y alimentar a múltiples robots al mismo tiempo. Hay algunos robots que se desenvuelven en medios peligrosos, y la programación *off-line* se hace por motivos de seguridad. Se abre también la posibilidad de

agregar diferentes opciones, como la detección de colisiones y control de diferentes robots y máquinas o la comunicación y complementación con técnicas de programación *on-line*.

9.3 Implementación de sistemas robóticos

Al evaluar la implementación de sistemas robóticos en una empresa se deben considerar los requerimientos de manufactura, costos de producción, proyectos nuevos, planes de inversión y estrategia general de la compañía. Además de contar con el apoyo gerencial, el proyecto debe considerar la forma en que afectará al personal que trabajará con estos sistemas y los eventuales conflictos de inseguridad provocados por la automatización.

Un proyecto de estas características no puede ser sólo manejado por personal técnico, sino que debe involucrar a un equipo de trabajo multidisciplinario que cuente con un buen sistema de comunicación. La forma de organización en este caso debe ser ampliamente interrelacionada, la comunicación debe fluir en todos sentidos con facilidad y, en general, debe involucrar un esfuerzo de la compañía entera.

La decisión de incluir robots en el proceso productivo de una empresa puede ser tomada por diversos motivos, automatización ordenada por la gerencia, solución de un difícil problema de manufactura, reemplazo de equipos y tecnología, etcétera. La forma en que se haga debe ser el resultado de un análisis y la ejecución de un completo plan de acción que parta con la familiarización con la tecnología disponible, comunicación con el personal, creación de grupos de trabajo y la selección de los puntos en que se aplicará la automatización. En segundo lugar se debe elaborar un diseño preliminar, mejorándolo para llegar al diseño final. Una vez hecho esto se llega a la etapa de fabricación e instalación del sistema. Finalmente se controla su funcionamiento de los equipos y se afina la optimización económica de los nuevos recursos.

Al elegir los sitios en que se puede implementar con éxito un sistema robótico se debe efectuar un análisis de la forma tradicional de manufactura buscando trabajos que sean peligrosos, repetitivos y observando la duración del ciclo, el tamaño del lote a procesar, la precisión requerida, la carga que se debe manejar, espacio y ambiente de trabajo. Además de estos factores, las tareas deben ser estructurables y divisibles en subrutinas. Considerando estas características se identifican los sitios potenciales de trabajo que podrían ser afectados. Para llegar a los sitios de implementación definitivos, se debe establecer una lista de prioridades, considerando además:

- El grado de complejidad de la tarea:** Los trabajos simples pueden ser hechos por maquinaria más barata. Las tareas que requieren de más control y criterio deben ser dejadas a las personas o abordadas de distinta manera.
- La repetibilidad de la tarea:** el proceso debe mostrar una fuerte repetibilidad y el desorden debe ser eliminado. El grado de desorden admisible se relaciona con la tecnología que se está usando. Los sistemas robóticos con sensores de visión, por ejemplo, pueden tolerar más desorden que los que no cuentan con ellos.
- Velocidad:** En ocasiones los robots no son tan rápidos como los humanos, pero trabajan a un paso constante. Algunos, como los *pick-and-place* pueden ser muy rápidos. Al aumentar la carga la velocidad baja o bien la precisión se ve afectada. En ciclos de trabajo largos, o jornadas completas los robots son más rápidos que los humanos, porque éstos se cansan, tienen pausas y son inconsistentes.
- Utilización:** como norma general se considera que por cada seteo se deben realizar a lo menos unos 25 ciclos, para que el tiempo dedicado a la programación y seteo no sea excesivo. Si se ejecutan más de 25 millones de ciclos al año, se puede considerar la introducción de máquinas automáticas específicas.
- Costos:** Para evaluar la justificación económica del proyecto existen distintos criterios, como el de *payback* y VAN. Es este último el más aceptado considerando el valor temporal del dinero, los ahorros introducidos, costos incrementales, las alternativas de inversión, etcétera.
- Aceptación:** Es muy importante que la presencia de un robot sea aceptada por los trabajadores para un cierto trabajo en un ambiente específico. Si no se logra una buena complementación con el factor humano, el proyecto tiene poco futuro.

Cuando ya se han elegido los sitios en que se implementarán los robots comienza la fase de ingeniería de manufactura. Se analizarán los flujos de material y del proceso productivo, ejecutando simulaciones que permitan evaluar si el uso actual del robot es el más adecuado o si el diseño preliminar puede ser mejorado introduciendo algunos cambios. Las consideraciones adicionales que pueden hacerse en esta fase se refieren al espacio físico disponible, normas de seguridad, accesibilidad al robot para repararlo, la forma en que el ambiente puede afectar la vida útil del robot, etcétera.

Al comprar los equipos necesarios cabe cuestionarse si se contrata a una empresa consultora para que haga todo el trabajo, o si se compran sólo las partes, se contrata servicio por separado, etcétera. Para elegir al proveedor de los equipos se debe proceder considerando que se establecerá una relación comercial duradera

y que las necesidades de servicio y respaldo hacen que la estabilidad financiera de este fabricante sea también importante. Después de comprados los equipos se da comienzo al entrenamiento del personal y a la instalación de los robots en sus lugares de trabajo. El postanálisis sigue a continuación sin dejar de lado el monitoreo continuo, buscando el mejoramiento continuo del sistema.

Equipo específico relacionado

Los robots no se usan aisladamente, sino con variados equipos que deben ser seleccionados de modo de maximizar la eficiencia de la celda de trabajo. Estos equipos deben ser por lo menos tan confiables como el robot, su complejidad y características dependerán de los objetivos y del trabajo realizado por la celda. Existen distintas formas en que se relacionan las celdas robóticas con el producto que está siendo procesado. La primera forma se utiliza con piezas grandes, por ejemplo automóviles, consiste en líneas o vehículos autoguiados que mueven las piezas mientras los robots actúan sobre la pieza (soldando, pintando, etcétera). Estas celdas son generalmente lineales. La segunda forma es cuando se disponen las distintas máquinas de tal manera que el robot tome una pieza y la mueva a través de distintos procesos (maquinado, control, embalaje, etcétera.) y la deposite en una línea de salida. Otra forma de trabajo es el ensamblaje. Generalmente al robot le llegan *pallets* con las piezas que él ordenará o armará en una forma predeterminada. De cualquiera de estas formas se produce la interacción de los robots con alimentadores, sistemas de transporte, tolvas vibratorias, y otras variadas máquinas y equipos auxiliares.

Funciones

La definición de robot indica que puede ser programado y reprogramado para desempeñarse en diferentes tareas. Esta es una verdad a medias, ya que los robots son diseñados para tareas específicas, si se toma uno y se le reprograma, se le cambia el set de herramientas del extremo del brazo y se instala para ejecutar otra tarea, probablemente lo hará, pero con menor eficiencia que un robot diseñado específicamente para ella. A modo de resumen se describen las distintas funciones que pueden ser ejecutadas por un robot:

- Manejo de materiales: Movimiento de materiales, paletizado, ordenamiento de materiales.
- Ensamblaje: Ensamblaje mecánico, ensamblaje electrónico.
- Inspección: Inspección de contacto, inspección sin contacto.
- Soldado: Soldadura al arco, soldado por puntos.
- Corte: Oxicorte, corte por láser.
- Acabado: Soplado de aire, soplado de acabados sin aire.

- Dispensador de adhesivos y selladores.
- Fundición: Preparación del molde, desmoldado, limpieza.
- Maquinado.

Comunicaciones

Otro importante factor a considerar al implementar sistemas robóticos, es el sistema de comunicaciones con que se cuente. La función de este sistema es el ingreso de programas, grabarlos y recuperarlos desde un computador y el intercambio de información con otros computadores o máquinas. Dentro de los dispositivos de *input* y *output* se encuentran el puntero de aprendizaje, teclado, disqueteras, puertas de comunicaciones seriales, paralelas o módems. Mientras más sofisticado sea el sistema, mayor será el requerimiento de estas puertas. Si se quiere incorporar sistemas de visión o integrar el robot a un sistema mayor, se deben incorporar dispositivos de comunicaciones adicionales.

Las comunicaciones en el robot se pueden dar a distintos niveles. Los más bajos sólo son útiles si el robot es parte de una celda de automatización aislada del resto del proceso productivo. En la medida en que se integre el robot a un sistema mayor o sistema de manufactura integrado por computador (CIM), se necesitarán comunicaciones más veloces y poderosas. La utilización de estos sistemas, junto con los de información de manufactura (MIS), hacen necesario el uso de los *Local Area Networks* (LAN) para transmitir información. Estas últimas son redes de comunicación de alta velocidad que soportan la interconexión de un mínimo de 100 estaciones a distancias de varios kilómetros. Esta tecnología hace posible el control en tiempo real, la autodetección de errores de transmisión y una alta inmunidad frente al ruido ambiental.

Cabe mencionar dentro de las redes LAN al protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol*). Este protocolo ha recibido especial atención en los últimos años y se caracteriza por tener una arquitectura abierta y estar basado en las normas ISO. Su implementación es de un elevado costo, pero permite la conexión con clientes y proveedores en todo el mundo. Las capacidades del MAP han ido en aumento con el paso del tiempo; han bajado sus requerimientos y han aumentado la potencia y funcionalidad de los robots y sus celdas de manufactura.

9.4 Bibliografía

- Ponsa, P., & Granollers, A. (2010). "Diseño y automatización industrial". Diseño Industrial, 2-30.
- Ruedas, C. (2010). "Automatización Industrial: Áreas de aplicación en la Ingeniería". *Boletín Electrónico*, (10).

- Turiel, J. P., Marinero, J. F., & González, J. R. P. (2002). “Aplicaciones de la Robótica: Últimas tendencias y nuevas perspectivas”. *Dyna*, 77(3), 61-68.
- Heyer, C. (2010, October). “Human-robot interaction and future industrial robotics applications”. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 4749-4754). IEEE.
- Zhang, B., Wang, J., & Fuhlbrigge, T. (2010, August). “A review of the commercial brain-computer interface technology from perspective of industrial robotics”. In *Automation and logistics (ICAL), 2010 IEEE international conference on* (pp. 379-384). IEEE.

Fundamentos de ingeniería industrial: sistemas de manufactura
de Julio Mar Ortiz, María Dolores Gracia Guzmán y Oscar Laureano Casanova,
publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Colofón, se terminó
de imprimir en agosto de 2019 en los talleres de Ultradigital Press S.A. de C.V.
Centeno 195, Col. Valle del Sur, C.P. 09819, Ciudad de México. El tiraje consta
de 300 ejemplares impresos de forma digital en papel Cultural de 75 gramos. El
cuidado editorial estuvo a cargo del Consejo de Publicaciones UAT.

