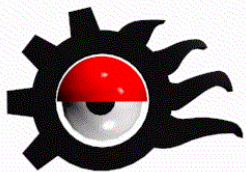




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

**FUNDAMENTOS DE CONTROL INTELIGENTE
DE LA
MANUFACTURA FLEXIBLE**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN TECNOLOGÍA AVANZADA
ESPECIALIDAD MANUFACTURA
P R E S E N T A :
G A B R I E L H E R N Á N D E Z L Ó P E Z



Director: Dr. José de Jesús Medel Juárez

México D. F., Junio 2008



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 11:00 horas del día 28 del mes de mayo del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-IPN para examinar la tesis de titulada:

"FUNDAMENTOS DE CONTROL INTELIGENTE DE LA MANUFACTURA FLEXIBLE"

Presentada por el alumno:

HERNÁNDEZ

Apellido paterno

LÓPEZ

Apellido materno

GABRIEL

Nombre(s)

Con registro:

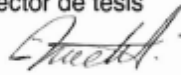
A	0	5	0	1	7	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **DOCTOR EN TECNOLOGIA AVANZADA**

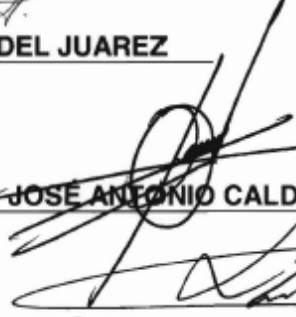
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

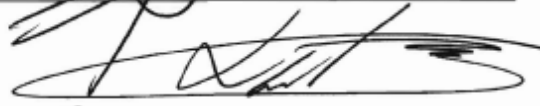
Director de tesis


DR. JOSÉ DE JESUS MEDEL JUAREZ


DR. PEDRO GUEVARA LÓPEZ


DR. JOSÉ ANTONIO CALDERÓN ARENAS


DR. MIGUEL ÁNGEL AGUILAR FRUTIS


DR. JOSÉ ANTONIO IRÁN DÍAZ GÓNGORA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. JOSÉ ANTONIO IRÁN DÍAZ GÓNGORA


CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA
DEL IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 24 del mes de junio del año 2008, el (la) que suscribe **Gabriel Hernández López** alumno (a) del **Programa de Posgrado en Tecnología Avanzada** con número de registro **A050172** adscrito a **CICATA-IPN**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **Dr. José de Jesús Medel Juárez** y cede los derechos del trabajo intitulado **Fundamentos de Control Inteligente de la Manufactura Flexible**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección gahlope@up.edu.mx gahlope@hotmail.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Gabriel Hernández López

Nombre y firma

Profesores

Dr. José Antonio Irán Díaz Góngora
Dr. José Antonio Calderón Arenas
Dr. José de Jesús Medel Juárez
Dr. Miguel Ángel Aguilar Frutis
Dr. Pedro Guevara López

1.0 Agradecimientos

María de Lourdes Guadalupe Martínez Villaseñor
María Margarita Elvira Hurtado Hernández
Ángel Guadalupe Vargas Velázquez
Roberto Francisco Jacobus Dávalos
Eduardo Ramón Lemus Velázquez
Roció Alejandra Muñoz Hernández
Octavio Norberto Rojas González
Carlos Alfredo Cervantes Blengio
José Leonardo Hernández López
Tomas Alejandro Pérez Zamudio
Daniel Everardo Ramírez Urban
Esteban Valenzuela Betanzos
Lilia Elena de la Vega Segura
Ana Leticia Cardona Gómez
Pablo Ricardo Méndez Ortiz
José Miguel Quesada Pérez
Felix Orlando Martínez Ríos
Pedro Creuheras Vallcorba
Juan José Hurtado Moreno
Juvenal Mendoza Valencia
Antonio Castro D'Franchis
Oscar Cervantes Cabello
Arturo Montes de Oca F.
Roberto González Ojeda
Carlos Espinosa Chávez
Laura Yadira Vega Haro
Armando Ramírez Loya
Horacio Ortiz Cárdenas
Francisco Ortiz Arango
Raquel Rivera Anrubio
Alfredo González Ruiz
Sergio Martínez Aviña
Jaime Ahuatzi Ochoa
Stanislaw Raczyński
Enrique Mejía Ponce
Pablo Arce Gargollo
Carlos Chávez Paz
Daniel Cruz Pérez
Jorge Ángeles
Irene Cartier

2.0 Abstract

Foundations of Intelligent Control in Flexible Manufacture is a reference that contains theoretical contributions with basic examples that allow to change the present practices of the conventional processes and improve the conditions of the existing Systems of Flexible Manufacture (SFM); everything in the context of the Mexican Industry, having like main elements: the human capital and the quality of the product, consequently the principal objective is to improve the technological conditions of the industrial processes and to optimize the activities of programming and operation in real time.

The investigation reunites the experience of the redesign, reconstruction and reprogramming the equipment of automated flexible manufacture of the School of Engineering of the Universidad Panamericana Campus Mexico City, where activities of implementation of new technology have been realized, as it is it the design and development of elements of subjection, assembly and transport, besides the creation of a friendly programming interphase to control the system. This equipment has like main element of operation a Programable Logic Control (PLC) which has a CC-Link communication network between all the parts that integrate the system, after this unties a series of automated components (robots, Machining centers, electro pneumatic devices, elements of signaling, etc.) that they are integrated and they act with base in the requirements of a variety of products with similar characteristics in his physical structure, geometry and properties.

The content of the investigation reunites foundations of manufacture and the productive system, managing to establish standards in the development of the productive process, that is to say: to formulate production diagrams (description of the product, planes of manufacture, route of the product, specifications of the product, etc.) that is connected with the programming of the PLC, to generate the plane of plant of the system with a three-dimensional view and of a virtual form where at the same time the effects of the production in real time are being simulated and that allows to define the physical location of an equipment, generally what one looks for is to emigrate to the concept of Digital Manufacture (DM).

The DM is an approach of concentration of the information of the production in a generalized data base and that is available for all the productive system through mass media based on calculation networks, this information owns all the specifications of the products that the SFM is producing, this allows to the change and innovation of products of more versatile and opportune form.

In conclusion, this investigation is a mixture of concepts of: manufacture, process planning and automatization, all controlled by the DM which generates the concentration of information, that is to say the intelligence of the system, because the knowledge is established in digital and versatile form for the planning and control of the production; allowing to the functionality of a SMF through handling graphs and diagrams of production; obtaining a high level programming, an easy handling for the designer and an establishment of tasks offline.

0.3 Resumen

Fundamentos de Control Inteligente de la Manufactura Flexible es una referencia que contiene aportaciones teóricas con ejemplos básicos que permiten cambiar las prácticas actuales de los procesos convencionales y mejorar las condiciones de los Sistemas de Manufactura Flexibles (SMF) existentes; todo en el contexto de la Industria Mexicana, teniendo como elementos principales: el ser humano y la calidad del producto, en consecuencia se puede ayudar a mejorar las condiciones tecnológicas de los procesos industriales y optimizar las actividades de programación y operación en tiempo real.

La investigación reúne la experiencia del rediseño, la reestructuración y la reprogramación del equipo de manufactura flexible automatizada de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana Campus Ciudad de México, en donde se han realizado actividades de implementación de nueva tecnología, como lo es el diseño y desarrollo de elementos de sujeción, montaje y transporte, además de la creación de una interfase amigable de programación para el control del sistema. Este equipo tiene como elemento principal de operación a un Controlador Lógico Programable (PLC) el cual tiene una red de comunicación CC-Link entre todas las partes que integran al sistema, después de esto se desata una serie de componentes automatizados (robots, centros de maquinado, dispositivos electroneumáticos, elementos de señalización, etc.) que están integrados y actúan con base en los requerimientos de una variedad de productos con características similares en su estructura, geometría y propiedades físicas.

El contenido de la investigación reúne fundamentos de manufactura y del sistema productivo, logrando establecer estándares en el desarrollo del proceso productivo, es decir: formular diagramas de producción (descripción del producto, planos de fabricación, recorrido del producto, especificaciones del producto, etc.) que estén enlazados con la programación del PLC, generar el plano de planta de todo el sistema con una vista tridimensional y de una forma virtual donde al mismo tiempo se estén simulando los efectos de la producción en tiempo real y que permita definir la ubicación física de un equipo, en general lo que se busca es emigrar al concepto de Manufactura Digital (MD).

La MD es un enfoque de concentración de la información de la producción en una base de datos generalizada y que está disponible para todo el sistema productivo a través de medios de comunicación basados en redes de cómputo, esta información posee todas las especificaciones de los productos que el SMFA esté produciendo, esto permite el cambio e innovación de los productos de forma más versátil y oportuna.

La investigación es una mezcla de conceptos de: manufactura, planeación del proceso y automatización, todas controladas por la MD lo que genera la concentración de información, es decir la inteligencia del sistema, debido a que el conocimiento queda establecido en forma digital y versátil para la planeación y control de la producción; permitiendo la funcionalidad de un SMFA a través del manejo de gráficos y diagramas de producción; logrando una programación de alto nivel, de fácil manejo para el diseñador y de establecimiento de tareas fuera de línea.

0.4 Glosario de términos

CIM - (Computer Integrated Manufacturing) Manufactura Integrada por Computadora.

DFA - (Design Factory Assembly) Diseño y Ensamble de Fabricación.

FA - Fabrica Automática.

MD -Manufactura Digital.

SMF - Sistema de Manufactura Flexible.

SMFA - Sistema de Manufactura Flexible Automatizado.

SMFATR - Sistema de Manufactura Flexible Automatizado en Tiempo Real.

TTR - Tarea en Tiempo Real.

TR - Tiempo Real.

STR -Sistema en Tiempo Real.

CNC - Control Numérico Computarizado.

MHCNC - Maquinas Herramientas de Control Numérico Computarizo.

CAD - (Computer Aided Design) Diseño Asistido por Computadora.

CAM - (Computer Aided Manufacturing) Manufactura Asistida por Computadora.

CAE - (Computer Aided Engineering) Ingeniería Asistida por Computadora.

PLC - (Programming Logic Controller) Controlador Lógico Programable.

PC - (Personal Computer) Computadora Personal.

PP - Planeación de Procesos.

3D - Tres dimensiones.

2D - Dos dimensiones.

EO - Espacio en las Operaciones.

EORT - Espacio en las Operaciones en Tiempo Real.

FIFO - (First Input/First Output) Primeras entradas/Primeras Salidas.

CC-Link - (Central Link Communication) Comunicación Central de Nodos.

Know-How - Palabra en Ingles que significa el saber el cómo de las cosas.

TEP- Tiempo Estándar de Producción.

DP - Diseño del Producto.

FC- Factor de Consumo.

Lay-Out - Plano de la planta o croquis de las instalaciones.

0.5 Índice

0.1 Agradecimientos

0.2 Abstract.

0.3 Resumen.

0.4 Glosario de términos.

1. Introducción

1.1 Motivación.

1.2 Planteamiento del problema.

1.3 Objetivos de la tesis.

1.3.1 Objetivo general.

1.3.2 Objetivos específicos.

1.3.3 Objetivos particulares.

1.4 Hipótesis.

1.5 Justificación.

1.6 Organización de la tesis.

2. Automatización y Manufactura Flexible.

2.1 El origen de la Automatización.....	1
2.2 El arte de agregarle valor a las cosas.....	3
2.3 Automatización	4
2.3.1 Tecnologías de Automatización	4
2.4 Tipos de Manufactura.....	17
2.4.1 Manufactura manual y semi-manual.....	17
2.4.2 Manufactura Automatizada.....	19
2.4.3 Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (FMSA).....	20
2.4.4 Estructura de los Sistemas de Manufactura Flexible	22
2.4.5 Planeación de procesos (PP)	22
2.4.6 Planeación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP).....	23
2.4.7 Simulación de procesos.	25
2.4.8 Manufactura digital.	25

3. Sistema de Manufactura Flexible Automatizado en Tiempo Real.

3.1 Sistema de Manufactura Flexible Automatizado en Tiempo Real (SMFTR)	30
---	----

4. Sistema de Control Inteligente de la Manufactura Flexible Automatizada.

4.1 El caso de estudio para hacer Manufactura Flexible Automatizada.....	44
4.2 La generalidad del proceso y su representación	45
4.2.1 Dibujo del Producto, explosivo y planos de fabricación.....	45
4.2.2 Diagrama de flujo.....	47
4.2.3 Descripción del proceso.....	49
4.2.4 Especificaciones de manufactura	50
4.2.5 Resultados obtenidos.....	56

5. Conclusiones.	57
-----------------------	----

6. Bibliografía.	59
-----------------------	----

0.6 Índice ilustrativo.

Fig. 1 Conjunto de tecnologías de la automatización.....	5
Fig. 2. Conceptualización de la manufactura manual.....	17
Fig. 3. Conceptualización de la manufactura automatizada.....	19
Fig. 4. Conceptualización de un sistema de manufactura flexible automatizado.....	21
Fig. 5. Sistema de simulación de planta basado en herramientas computacionales.....	25
Fig. 6. Conceptualización de la simulación de procesos y de la manufactura integrada por computadora (CIM).....	26
Fig. 7. Metodología de aplicación de un proceso de simulación.....	27
Fig. 8. Visualización de una planta bajo el concepto MD.....	28
Fig. 9. Programación fuera de línea usada en las aplicaciones de MD.....	29
Fig. 10. Elementos temporales de una instancia dentro de una tarea de tiempo real.....	32
Fig. 11. Componentes de trabajo de un proceso de producción a través de la manufactura flexible.....	34
Fig. 12. Instancias-Unidades de tiempo.....	35
Fig.13. Dos ciclos utilizando recursos compartidos.....	37
Fig.14. Esquema del SMFA de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.....	39
Fig. 15. Foto del SMFA de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.....	39
Fig. 16. Productos del caso de estudio a) Porta-Timer; b) Porta-Plumas.....	40
Fig. 17. Diagrama a bloque de la operación del SMFA ocupando los recursos en forma compartida.....	41
Fig. 18. Ciclo de operación del SMFA ocupando los recursos en forma compartida.....	41
Fig. 19. Dibujo del producto, dibujo explosivo y planos de fabricación del Porta-Timer.....	45
Fig. 20. Dibujo del producto, dibujo explosivo y planos de fabricación del Porta-Pluma....	46
Fig. 21. Distribución del SMFA visualizado en 3D para la MD.....	51
Fig. 22. Diversas configuraciones para el transporte de materiales y producto terminado.....	52
Fig. 23. Panel de control e información del SMFA.....	55
Fig. 24. Hoja de producción de un modelo CAPP aplicado en un SMFA.....	55
Figura 25. Laboratorio de Manufactura Flexible de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana. Fuente: Diseño propio.....	56

1

Introducción.

1.1 Motivación.

Se canaliza por la búsqueda de mejorar las prácticas de manufactura industrial a través del uso de tecnologías de vanguardia acompañadas de un soporte de conocimiento estandarizado y adaptado al contexto de la Industria Mexicana; el enfoque está orientado al diseño e integración de Sistemas de Manufactura Flexible Automatizados (SMFA).

1.2 Planteamiento del problema

En la industria Mexicana existe una necesidad de fabricar una gran variedad de productos con alto valor agregado para el cliente. Sin embargo por cuestiones de diseño y en algunos casos; el empleo de sistemas convencionales, la industria se ve limitada ya que opera bajo una plataforma rígida y obsoleta.

Los SMFA están en diversas industrias y su desarrollo es muy amplio, sin embargo las malas prácticas industriales impiden operar un SMFA a su mayor eficiencia, esto es soportado por los bajos índices de productividad; es decir, inseguridad industrial, mala calidad de los productos y baja producción. Pero no en todos los casos es cuestión del sistema, si no también en ocasiones los SMFA se ven limitados por su nivel en la estructura tecnológica, su alto nivel de programación y la falta de información en tiempo real.

Las fallas que tiene un SMFA en su actuar repercute en la calidad del producto, tales como los problemas de ensamble, exceso de material, deformaciones dimensionales, entre otros; a los cuales se les llama fallas de información, programación y operación.

Englobando lo anterior la problemática que presenta un SMFA es la limitación del nivel de estructuración y programación porque las tareas no están analizadas como sub-procesos formados por las n-duplas (tiempo de inicio, tiempo de transporte, tiempo de operación, tiempo de finalizado y tiempo de entrega), que ocasionan baja producción e interferencias entre procesos.

1.3 Objetivos de la tesis

1.3.1 Objetivo general

Establecer especificaciones y estándares de diseño, integración y principios de programación de los Sistemas de Manufactura Flexible Automatizado (SMFA) de acuerdo a los requisitos de manufactura en Tiempo Real (TR).

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir la estructura de un SMFA.
- Describir las propiedades de un SMFA en TR.
- Definir la estructura tecnológica de un SMFA.
- Describir diagramas de producción para SMFA.
- Optimizar la productividad en un SMFA en vista temporal.
- Obtener los parámetros de asistencia en la programación del SMFA.

1.3.3 Objetivos particulares

- Utilizar diagramas de producción de una manera estática o fuera de línea para representar las operaciones de un SMFA.
- Ejecutar las propiedades de TR en un SMFA.
- Describir al SMFA como un SMFA-TR de acuerdo a los parámetros de variabilidad en cada una de sus operaciones.
- Utilizar herramientas de diseño gráfico para simular virtualmente el SMFA.

1.4 Hipótesis

El empleo de la automatización mediante una fabricación flexible automatizada, es capaz de realizar operaciones de diversa índole; cumpliendo en todo momento con altos estándares de **Seguridad, Calidad y Producción** beneficiando al ser humano y al producto.

1.5 Justificación

En esta investigación, el tema central es el SMFA el cual agrupa a un gran número de nuevas tecnologías modernas de fabricación automatizada, asistida por computadoras (CAD/CAM) e integradas a la vez con manipuladores programables, sistemas de visión y un control de programación definido.

Un SMFA está dinámicamente interactuando con su medio ambiente, lo cual afecta en la operación general. Los cambios se deben: a) al número de piezas a fabricar, b) el ciclo de vida del producto y, c) a la gama de partes a manufacturarse dentro del SMFA. Esto trae como consecuencia la preparación de los dispositivos de sujeción, la programación de los diferentes elementos automáticos (robots, actuadores, centros de

maquinado, sistemas de inspección, etc.) y al registro de información requiriendo que el SMFA esté en sincronía con todos los elementos automáticos que interactúan con él y proporcione en los ámbitos de información, programación y operación en tiempo real (TR). Por tanto, la investigación aquí presentada analiza y propone alternativas de estructuras tecnológicas de vanguardia y logrando una función de programación inteligente e integrada al SMFA, todo con el fin de mejorar la producción con respecto a la demanda, la combinación de procesos, los tiempos definidos de cada operación y la caracterización de las tareas de manufactura de forma temporal, con la finalidad de reducir tiempos muertos, encontrar conflictos de manufactura y de programación para su re-estructuración y permitir la toma de decisiones en cualquier nivel del proceso de acuerdo a las políticas preestablecidas.

Lo anterior se corrobora en un SMFA semi-industrial que servirá para aplicar los resultados obtenidos de toda la caracterización.

Es importante mencionar que esta investigación es de carácter científico y que todas sus aportaciones están respaldadas por aplicaciones prácticas en un SMFA de nivel semi-industrial, esto quiere decir que este trabajo no propone desarrollos de celdas de manufactura flexible así como tampoco la creación de software de control.

1.6 Organización de la tesis

Lo que se propone son los fundamentos técnicos y científicos del uso de un SMFA, ofreciendo recomendaciones prácticas de manufactura, las cuales se dividen en 4 capítulos de gran aplicación industrial.

En el capítulo 2 existe un gran desarrollo teórico de la automatización industrial guiando el tema al concepto científico de lo que es un SMFA, además se analizan varios SMFA los cuales son de gran trascendencia para justificar ampliamente el objetivo de esta investigación. Se trata de analizar el estado de arte de los SMFA en su inicio, en su presente y en su posible continuidad de funcionalidad como empleado de la manufactura industrial.

Además se muestra un desarrollo de la planeación de procesos de manufactura así como la estructura que un SMFA debe poseer. Es importante mencionar que ésta última es el elemento principal para el desarrollo y continuidad de esta investigación, ya que establece acertadamente todas las especificaciones y normas de manufactura; algunas de éstas son: características de diseño, diagramas de operaciones, instrucciones de trabajo, diagramas de flujo, codificación de partes, etc. Es importante mencionar que también se involucra un ajuste tecnológico de los SMFA de acuerdo al desarrollo de tecnología de nuestros días.

Continuando con el desarrollo de los capítulos, la tercera parte propone científicamente la regulación de TR en los SMFA, aplicando los conceptos básicos de TR; interacción con el mundo real, respuestas correctas y respuesta acotada en tiempo. Es decir se presenta un análisis que define al TR en los SMFA en los ámbitos de información, programación y operación. Para ello, se muestra en términos de aplicación un ejemplo de lo que ocurre en el sistema, donde se desarrollan tareas básicas (inserción de

partes, ensambles, etc.); ésta proporciona efectos como son: señal de entrada para iniciar la rutina, activación de señales de salida, el tiempo de inicio de la actividad, el tiempo máximo empleado, fallas de inserción, rutinas de reinicio y el tiempo final de cada ciclo; además de proporcionar información estadística de lo que ocurre en el sistema y que sirve para mantener los requerimientos técnicos del producto. Con estos efectos se logra fundamentar al TR en los SMFA y como resultado práctico el funcionamiento óptimo del sistema.

Finalmente en la cuarta parte hay un estudio práctico de aplicación de un SMFA, donde se emplean técnicas de automatización, control y planeación de la producción; en resumen es un enfoque de la manufactura digital (MD).

En general toda la investigación es una fuente de resultados; es decir son fundamentos para el óptimo funcionamiento de los SMFA; brindando un soporte para las diversas alternativas de distribución y programación de la industria de la manufactura en México.

Todo aquel que lea esta documentación podrá enriquecer su desarrollo productivo en un ambiente industrial y tomará algunas consideraciones para mejorar los procesos que dirige y controla, o bien podrá tomar la decisión de hacer las cosas de otra forma y no como aquí se proponen y bueno eso esa es la intención más importante del texto, hacer que existan cambios en el actuar de las cosas.

2

Automatización y Manufactura Flexible¹

“La herramienta facilita el trabajo humano, la máquina lo sustituye, primero en parte y luego totalmente pero es por el bienestar de su seguridad”²

2.1 El origen de la Automatización.

En el Neolítico, hace unos 10,000 años, el hombre experimentó un cambio revolucionario: la paulatina transición del recolector pescador y cazador nómada, al primitivo agricultor y ganadero sedentario. Entonces comenzó la evolución de la artesanía y el comercio, así como los principios del arte de la construcción y de la técnica de las primeras culturas de Mesopotamia. Esto propició el desarrollo de operaciones como medir y calcular. La invención de las herramientas contribuyó a aliviar el trabajo humano. Esto llevó a la producción de mercancías y de servicios, lo que a su vez condujo al desarrollo de máquinas operadoras y motrices, así como desarrollar las capacidades de medir, controlar, regular y calcular fenómenos naturales y artificiales, a todo lo cual se le denominó mecanización.

En la Antigüedad se crearon muchos artefactos basados en movimientos mecánicos, que abarcaban desde relojes de agua y puertas de templos que se abrían por sí solas hasta pájaros que cantaban, utilizando elementos funcionales y sencillos ruedas, palancas, mandos por cable, engranes, flotadores, sifones y válvulas accionados por fuentes naturales (corrientes de agua, la fuerza del viento y la fuerza de animales). Pero en su mayoría fueron de carácter lúdico, destinados únicamente a transmitir el encanto de lo mágico y lo asombroso de una técnica llena de trucos.

En la Edad Media el fin cambió: ahora se trataba de aprovechar al máximo la mecanización en actividades productivas y de transformación que permitieran el

¹ Para este apartado se recurrió a los siguientes libros: Seropé, Kalpakjian. Manufacturing Engineering and Technology, Addison-Wesley Publishing Company, Illinois Institute of Technology, 1995, p. 1118-1228.

Ray, Asfahl. Robots and Manufacturing Automation, University of Arkansas, Fayetteville, 1985, p. 19-37.

Benjamin, Coriat. El Taller y el Cronómetro, Ensayo sobre el Taylorismo, el Fordismo y la producción en masa, Editorial Siglo XXI, Francia, 1982, p. 56-74.

Benjamin, Coriat. El Taller y el robot, Ensayo sobre el Fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica, Editorial Siglo XXI, Francia, 1982, p. 6-66.

Benjamin, Coriat. Pensar al Revés, Trabajo y organización en la empresa Japonesa, Siglo XXI, Francia, 1982, p. 1-13.

Juvenal Mendoza Valencia, Francisco López Monzalvo. La fábrica flexible un paso más, Laboratorio de Automatización y Robótica, UPIICSA, México, 2002, p. 1-159.

² Festo Didactic, Cromo sobre: La Automatización a través del tiempo. Idea y asesoramiento científico para el texto y la composición: Ludolf Von Mackensen. Hannover, Alemania, 2001.

crecimiento económico; esta mecanización comenzó con grandes fusiones, lo que ocasiono un giro en su actuar.

Con el transcurso del tiempo y la acumulación de la experiencia, se desencadenó el movimiento de la industrialización, que junto con las necesidades económicas de una población en crecimiento produjo los primeros avances técnicos. Esto se dio sobre todo en la industria textil con la invención de la máquina de vapor. Continuamente se fueron aplicando nuevas máquinas motrices y empleando nuevas materias primas, como el hierro y carbón.

La experiencia continuó acumulándose en todos los campos (fabricación, medición, control, regulación, calculo, administración), beneficiando los intereses de las naciones. Gracias a su creciente organización la producción industrial se convirtió en el medio para la acumulación del capital y por lo tanto él en sustento principal de crecimiento.

Con la división del trabajo industrial y la aparición de la cadena de montaje en la fabricación de piezas en serie, la producción industrial comenzó una nueva etapa de transición, de la mecanización a la automatización. Esta fue llamada así por primera vez en 1947. por FORD Motor, para describir la manipulación de materiales y partes entre las operaciones del proceso en forma independiente o automática. “automático”, que significa en griego <<por sí solo>>. En el ámbito industrial la automatización se define como:

“El diseño de todo sistema capaz de llevar a cabo tareas repetitivas realizadas por el hombre, y que mediante acciones sincronizadas, verifique y controle diferentes operaciones en su actuar, asistido todo por un sistema programable.”

Con la evolución de la mecánica, la electrónica, la cibernética informática y comunicación entre otras disciplinas, se forma un desarrollo industrial entrelazándose con un aprendizaje de automatización integral, la cual está relacionada con una gran variedad de ciencias y técnicas que dan origen a dispositivos automáticos. Estas ciencias y técnicas son presentadas en la figura 1.

A partir de este momento, la automatización pasa a ser una opción que permite mejorar las condiciones de **Seguridad** en los ambientes laborales, mejorar la **Calidad** de los productos y aumentar la **Producción** industrial. Además, puede ser considerada como el paso más importante del proceso de evolución de la industria en el siglo XX.



Rubros más importantes en el proceso de manufactura.

Para automatizar es necesario construir máquinas dotadas con los conocimientos y experiencias de los seres humanos, y además adaptarles un sistema sensorial que les permita relacionarse con el entorno.

2.2 El arte de agregarle valor a las cosas.

La manufactura es el medio de creación de productos diversos; los cuales tienen una diversidad en su diseño lo que hace que posean un valor agregado, y en consecuencia su gran demanda en el mercado, sin embargo la manufactura muchas veces carece de este valor agregado en su actuar; es decir, con el mínimo empleo de tecnología e innovación se logra cumplir con las peticiones de producción, pero acostumbre de grandes tiempos de producción, retrabajos y en muchas ocasiones en condiciones de inseguridad industrial para el trabajador.

Por tanto, la manufactura debe tener un valor agregado en su actuar, requiere de la imaginación aplicada, es uno de los rubros de mayor importancia en la industria, también es un producto; pero es visto como un producto que tiene funcionalidad rodeado de simplicidad.

El punto de vista de la manufactura, sea como sea su actuar, debe englobar un contexto de seguridad, calidad y producción, en todo momento debe ser una industria con altos estándares de seguridad industrial, debe ser una industria que genere productos con valor agregado en su diseño y que mantenga la máxima confiabilidad de su función, en consecuencia, un productor que mantenga estos lineamientos logrará tener una gran demanda en el mercado, será un generador de imagen del cómo hacer las cosas bien.

Es importante aclarar que lograr estos estándares requiere de una constante disciplina en el accionar de la industria y además requiere de grandes inversiones en varias actividades que al final se convierten en inversiones económicas, pero muchas veces la pregunta es: ¿Cuánto se invierte en un reproceso? O que tal ¿Cuánto cuesta un rechazo del producto? O mejor aun ¿Qué cuesta una accidente laboral? Sin tomar en cuenta que el daño psicológico que se le ha ocasionado a la persona... es casi seguro que la inversión económica es en muchas ocasiones equiparable con una inversión tecnológica, lo que sucede siempre es que el industrial se envuelve en el movimiento diario y por tanto; piensa que todo marcha normal, y hasta en ocasiones se siente triunfador cuando resuelve un problema de planta o cuando logra negociar que el cliente acepte un producto que tiene variaciones en su calidad o que tal promover al personal que ha sufrido una accidente laboral, como para que se compense... o algo así.

Retomando el concepto de una manufactura con valor agregado en su actuar, la industria debe obedecer este principio y hacer un cambio tecnológico de su proceso, uno de los caminos es por apostar al uso intensivo de la tecnología de la automatización con un enfoque de flexibilidad en la manufactura.

2.3 Automatización.

2.3.1 Tecnologías de la automatización.

El estado del arte de esta investigación se concentra en la tecnología de la automatización y para ser más exacto, el desarrollo puntualiza aplicaciones para los SMFA, pero en un concepto integrado de automatización; por ello se establece inicialmente la gran gama de aplicaciones de estos sistemas en la industria de la transformación.

Para ubicar el contexto teórico de los SMFA y su aplicación, se muestran en la figura 1, las tecnologías vitales para hacer la manufactura automatizada mediante una pirámide que contiene información científica y tecnológica, que difícilmente puede ser dominada por una sola persona, de ahí que la automatización requiera la agrupación de personas con los conocimientos involucrados.

Esta pirámide es eficiente en el desarrollo de la manufactura moderna debido a su formación sistemática, que parte de una plataforma sólida y única, compuesta principalmente por la idea conceptual y que en su recorrido a través de una serie de técnicas facilitan la manufactura.

También se integra el álgebra, rama de las matemáticas que comprende la generalización del cálculo aritmético de expresiones compuestas por números y letras que representan cantidades variables y lógicas. En segundo término, se encuentra la representación imaginaria de la concepción de los objetos.

En tercer lugar se ubica la energía eléctrica, que se manifiesta por movimientos mecánicos, caloríficos y luminosos además de ser materia constituida por átomos que contienen un número igual de electrones de carga negativa que de protones de carga positiva, por lo tanto, es eléctricamente neutra. La electricidad es un medio interdisciplinario que comprende la electrostática, la electrocinética, el magnetismo y electromagnetismo, gracias a este último, la electricidad encontró aplicaciones industriales y se convirtió en un indicador energético sinónimo de desarrollo económico. De esta manera, las corrientes alternas, durante mucho tiempo desconocidas, dieron lugar a las aplicaciones industriales más importantes de la electrotécnica. El último y más importante elemento de este nivel que debe considerarse en todo diseño, es la seguridad, acción que garantiza la integridad física de las personas.

Pasando al siguiente escalón, se encuentra la geometría que se encarga del estudio riguroso del espacio y de las formas (figuras y cuerpos) que se pueden imaginar, representándolas en un sistema de coordenadas. La figura o cuerpo tiene que ser representada por el dibujo, técnica que plasma las ideas sobre papel. En ese mismo escalón, pero con diferente orientación, se encuentra el movimiento rotatorio del motor eléctrico; éste en conjunto con la mecánica, que estudia la acción de las fuerzas sobre los cuerpos, logra la transformación de la energía en movimiento.

El tercer escalón empieza con la ciencia física, que estudia las propiedades generales de la materia y establece las leyes que dan cuenta de los fenómenos naturales. A ella

se le agrega la química, que estudia las propiedades y la composición de los cuerpos así como sus transformaciones, además de analizar, mediante procedimientos sistemáticos, la composición cualitativa y cuantitativa de las sustancias complejas. En general, la química fortalece a las áreas que estudian a los elementos orgánicos e inorgánicos.

Las herramientas de dibujo se involucran con el arte de dibujar, ayudando a plasmar la imitación de la forma de un objeto y logrando una representación más cercana a la realidad.

Como se había podido observar, cada nivel de la pirámide del aprendizaje de la automatización recibe información del anterior y emite información, al siguiente; esto da pie para enfatizar que la ciencia de las comunicaciones permite la creación de un flujo continuo de información que facilita el desarrollo de la ciencia en todo su actuar.

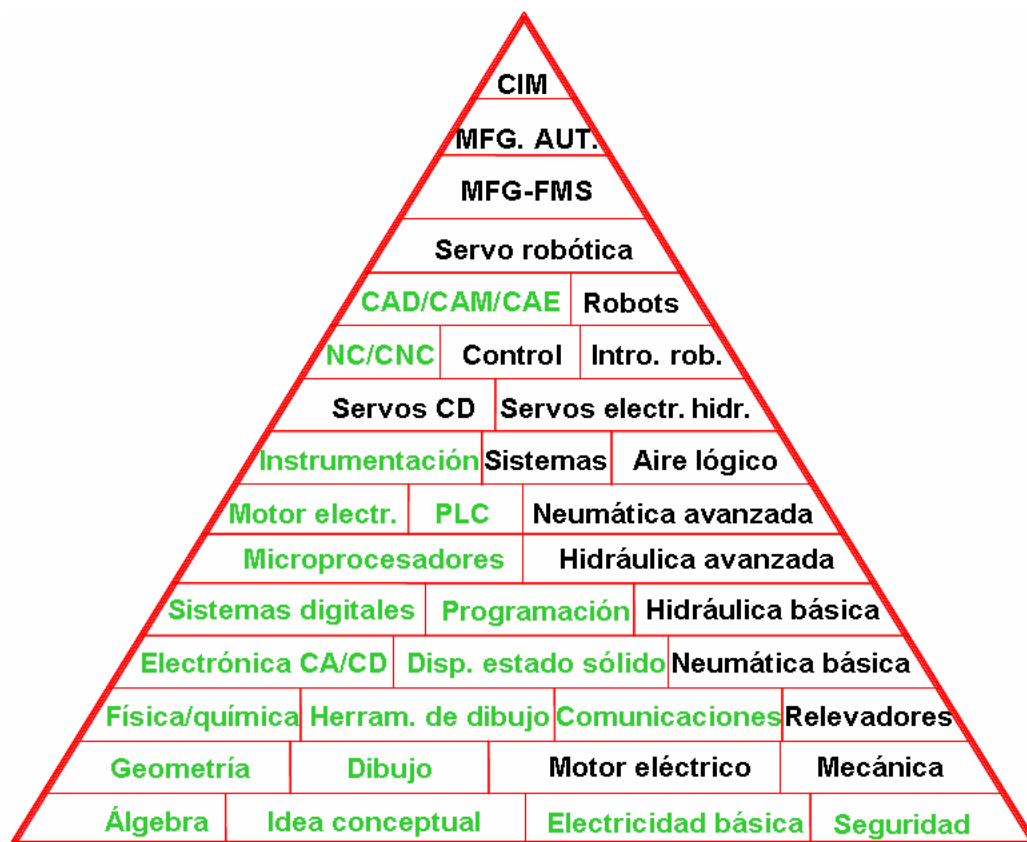


Figura.1 Conjunto de Tecnologías de la Automatización.³

El relevo aparece y ahora es el turno de los relevadores, que son los primeros dispositivos utilizados para la realización de operaciones lógicas, por medio del sencillo funcionamiento de dos platinas y un campo electromagnético. Las platinas se cierran para dejar pasar la señal o se abren para interrumpir su flujo. Un relevador trabaja en

³ Fuente: Manual del Usuario, Robot CENTARY, AMATROL, U.S.A. Laboratorio de Automatización y Robótica, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías, Ciencias Sociales y Administrativas (U.P.I.I.S.A). Instituto Politécnico Nacional, México, 1994, p. 47.

conjunto con muchos relevadores, todos bajo una secuencia lógica por la cual los dispositivos de trabajo conectados realizan la tarea especificada por el proceso. La señal de excitación es independiente del circuito a controlar y tiene baja potencia, mientras que el circuito controlado puede tener características de tensión y de corriente totalmente diferentes. Cuando aplicamos tensión de excitación, alimentamos un electroimán y se cierran unos contactos que controlan la parte de carga.

En este momento, el desarrollo de la automatización se sitúa sobre una base más sólida y con un mejor aprovechamiento de la electricidad, esta vez por medio de la electrónica, que puede ser utilizada en corriente directa (CD) o en corriente alterna (CA). La ciencia de la electrónica proporciona la base física y técnica que se ocupa del comportamiento y utilización de los electrones libres mediante el paso de la electricidad a través de gases y del vacío, empleando para ello dispositivos como los resistores, los capacitores, y los inductores; a ellos se suman actualmente los dispositivos de estado sólido.

Por cuestiones de aprovechamiento de los recursos y de fuentes alternas de energía, se ha considerado también el uso de la energía del aire. La ciencia que la estudia es llamada neumática, trata de los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión o depresión (vacío del aire). La neumática se logra aprovechando las propiedades del aire comprimido. Las señales se traducen en ausencia o presencia de presión neumática. El tratamiento de las señales es realizado por conductos y dispositivos de control, llevando la presión del aire a elementos de trabajo como actuadores, motores neumáticos, pinzas o ventosas.

La tecnología avanza y la pirámide se fortalece con el desarrollo de los conceptos básicos de los sistemas digitales, los procedimientos de diseño de sistemas digitales, tanto combinacionales como secuenciales; y el estudio y aplicación de los dispositivos de memoria y los dispositivos de lógica programable. El álgebra booleana difiere del álgebra decimal en que las constantes y las variables usadas son binarias. El álgebra desarrollada por George Boole⁴ (una teoría matemática completamente distinta a las que entonces se conocía) se ha expandido con tanta rapidez que en la actualidad se aplica a la resolución y análisis de la mayoría de las operaciones industriales complejas. Igualmente, ha pasado a ser parte importante en el equipo físico y en la programación de las modernas computadoras.

Para la resolución de problemas, el álgebra de Boole establece una serie de postulados y operaciones lógicas, que son puestas en obra por elementos físicos de tipo mecánico, eléctrico, neumático o electrónico.

Los elementos que considera el álgebra de Boole (constantes y variables) sólo admiten dos estados, es decir, se comportan como magnitudes digitales bivalentes. Además, dichos estados tienen un carácter opuesto. Así, por ejemplo, a una lámpara corriente

⁴ George Boole nació el 2 de Noviembre de 1815 en Lincoln, Inglaterra. Boole redujo la lógica a un álgebra simple. También trabajó en las ecuaciones diferenciales, el cálculo de diferencias finitas y los métodos generales en probabilidad. El sistema de lógica de Boole es una de sus muchas pruebas de genio y paciencia el proceso simbólico del álgebra, inventado como herramienta de cálculos numéricos, competente para expresar cada acto del pensamiento, y proveer la gramática y el diccionario de todo el contenido de los sistemas de lógica. El álgebra booleana tiene una amplia aplicación en el interruptor telefónico y en el diseño de computadores modernos. El trabajo de Boole fundamental para la revolución de los computadoras. Falleció el 8 de diciembre de 1864 en Ballintemple, Irlanda.

(tubo fluorescente) el álgebra de Boole sólo la considera en uno de sus dos posibles estados opuestos: encendida o apagada. No admite estados intermedios. A uno de los dos estados (lámpara encendida), se le denomina de diversas formas: verdadero, estado alto, nivel lógico 1, etc. Al otro estado (lámpara apagada), se le llama con los términos opuestos: falso, estado bajo, nivel lógico 0, etc.

Todos los elementos tratados por el álgebra de Boole son considerados de la misma manera sí, un interruptor puede estar "abierto" o "cerrado"; un diodo, "conduciendo" o "bloqueado"; un transistor "saturado" o "bloqueado".

La posibilidad de que todos los elementos admitan dos estados en este tipo de álgebra ha llevado a llamarla "álgebra binaria". La denominación "álgebra lógica" se debe al carácter intuitivo y lógico que tienen los razonamientos que en ella se aplican.

En el álgebra de Boole, las variables y constantes binarias de entrada y salida se suelen expresar con las letras del alfabeto. Además, sus operaciones se expresan con signos muy similares a los empleados en las operaciones matemáticas clásicas, como la suma y la multiplicación. De esta forma, se pueden manejar ecuaciones lógicas que ligan las variables y constantes de entrada mediante ciertas operaciones, para expresar el valor de las variables de salida del sistema.

En la aplicación de las ecuaciones lógicas que resuelven los procesos en los que se aplica el álgebra de Boole, se utilizan diversas operaciones o funciones lógicas, de las que cito las tres fundamentales:

- AND o producto lógico
- OR o suma lógica
- NOT o negación lógica

El álgebra booleana se aprovecha para expresar y simular los efectos que los diversos circuitos digitales ejercen sobre las entradas lógicas, y para manipular variables lógicas con el objeto de determinar el mejor método de ejecución de una cierta función.

Ya que sólo puede haber dos valores, el álgebra booleana es relativamente fácil de manejar, comparada con el álgebra ordinaria. En la primera, no hay fracciones, números negativos, raíces cuadradas, raíces cúbicas, logaritmos, números imaginarios ni ninguna de esas operaciones que se emplean en el álgebra decimal.

El resultado de toda esta rica base de conocimientos básicos es la creación del microprocesador. El microprocesador, o simplemente el *micro*, es el cerebro del ordenador. Es un *chip*, un tipo de componente electrónico en cuyo interior existen miles (o millones) de elementos llamados transistores, cuya combinación permite realizar el trabajo que tenga encomendado. Suelen tener forma de cuadrado o rectángulo negro, y van sobre un elemento llamado *zócalo* (*socket* en inglés), o bien, soldados en la placa.

A veces, al micro se le denomina "*la CPU*" (*central process unit*, unidad central de proceso), aunque este término tiene cierta ambigüedad, pues también puede referirse a

toda la caja que contiene la placa base, el micro, las tarjetas y el resto de la circuitería principal del ordenador.

La velocidad de un micro se mide en megahertzios (MHz) o gigahertzios (1 GHz = 1.000 MHz).

El microprocesador necesita ser acompañado por el elemento humano, el programador, que introduce la información acumulada por la experiencia bajo un lenguaje de alto nivel. El micro la analiza bajo el lenguaje máquina (álgebra booleana) y la presenta como instrucciones que una máquina o dispositivo conectado debe ejecutar.

El trabajo ejecutado hasta este momento es ligero. Ahora con la necesidad industrial de manipular, contener y transportar materiales pesados, entra en acción la técnica de la hidráulica, la cual permite levantar objetos de mucho peso. Su estudio aplica los conceptos de la mecánica de los fluidos; el nombre “hidráulica” no es del todo correcto: el nombre propio es “oleohidráulica” que se define como la tecnología que trata de la producción, transmisión y control de movimientos y esfuerzos por medio de líquidos a presión, principalmente aceites, ayudados o no por elementos eléctricos y electrónicos.

Los accionamientos oleohidráulicos tienen ventajas singulares que los hacen imprescindibles en la construcción de gran número de máquinas. Se les utiliza fundamentalmente en tecnologías donde se requiere realizar importantes esfuerzos, principalmente lineales, con alta precisión.

El desarrollo de la oleohidráulica que ha desembocado en la oleohidráulica avanzada ha repercutido, a su vez, en el de la neumática con lo cual surgió la neumática avanzada. Esto ha permitido perfeccionar los medios de mando y de control, así como el tratamiento del aire comprimido (aire seco, lubricado, presión constante, etc.), el cual por su estado permite mantener los elementos en condiciones de operación eficiente.

Se puede manipular objetos e información mediante el microprocesador y las técnicas de trabajo, pero el ambiente industrial requiere un medio que permita la aleatoriedad de los procesos y además tenga la capacidad de manejar mucha información y posea una velocidad de respuesta inmediata. Esta necesidad se denomina programador lógico programable (PLC). El término PLC, de amplia difusión en el medio, significa en inglés, (Programing Logic Controller/Controlador Lógico Programable). Originalmente se denominaban PCs (Programmable Controllers/ Controladores Programables), pero, con la llegada de las PCs de IBM se emplearon definitivamente las siglas PLC. En Europa, el mismo concepto es llamado autómatas programables.

“La definición más apropiada es: sistema industrial de control automático que trabaja bajo una secuencia, almacenada en memoria, de instrucciones lógicas. “

Es sistema porque contiene todo lo necesario para operar, e industrial, por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles que se encuentran en la industria.

Esta familia de aparatos se distingue en que puede ser programado para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros muchos otros controladores

automáticos, que solamente pueden controlar un tipo específico de aparato. Un programador o control de flama de una caldera, es un ejemplo de estos últimos.

El término "control automático" corresponde solamente a los aparatos que comparan ciertas señales provenientes de la máquina controlada, según algunas reglas programadas con anterioridad y emiten señales de control para mantener estable la operación de dicha máquina.

Las instrucciones almacenadas en la memoria permiten realizar modificaciones, así como llevar a cabo su monitoreo externo.

Los PLCs surgen en 1969 con la División Hydramatic de la General Motors, que instaló el primer PLC para reemplazar los sistemas inflexibles alambrados usados hasta entonces en sus líneas de producción.

En 1971, los PLCs se extendían a otras industrias y ya en los años ochentas, los componentes electrónicos permitieron un conjunto de operaciones en 16 bits, frente a los 4 bits de los setenta, en un pequeño volumen, lo que los popularizó en todo el mundo.

En los primeros años noventa, aparecieron los microprocesadores de 32 bits capaces de realizar operaciones matemáticas complejas, y de establecer comunicación entre PLCs de diferentes marcas y PCs, con lo que hicieron posibles las fábricas completamente automatizadas y con comunicación a la gerencia en tiempo real.

Los PLCs pequeños son compactos y contienen en un solo cajón todos los componentes, por lo que se les llama "cajas de zapatos". En cambio, los mayores son de tipo modular y sus diferentes partes se conectan de manera que puedan ser reemplazadas individualmente.

Un PLC consiste en las siguientes partes:

CPU o unidad de proceso lógico. En el caso del PLC, reside en un circuito integrado denominado microprocesador o microcontrolador, que dirige las operaciones del mismo. Por extensión, todo el "cerebro" del PLC se denomina CPU.

Un CPU se caracteriza por el tiempo que requiere para procesar 1 K de instrucciones, y por el número de operaciones diferentes que puede procesar. Normalmente, el primer valor va desde menos de un milisegundo hasta unas decenas de milisegundos, y el segundo, de 40 a más de 200 operaciones diferentes.

Memoria. Es donde residen tanto el programa como los datos que se van obteniendo durante la ejecución del programa. Existen dos tipos de memoria, según su ubicación: la residente, junto al CPU y, la exterior, que puede ser retirada por el usuario para su modificación o copia. De este último tipo las hay borrables (RAM, EEPROM), según la aplicación. Las memorias empleadas en los programas van de 1 K a unos 128 K.

Procesador de comunicaciones. Las comunicaciones del CPU son llevadas a cabo por un circuito especializado con protocolos de los tipos RS-232C, TTY o HPIB (IEEE-485), según el fabricante y la sofisticación del PLC.

Entradas y salidas. Para llevar a cabo la comparación necesaria en un control automático, es preciso que el PLC tenga comunicación con el exterior. Esto se logra mediante una interfaz llamada de entradas y salidas, de acuerdo con la dirección de los datos vistos desde el PLC. El número de entradas y salidas va desde 6 en los PLCs de "caja de zapatos" tipo micro, a varios miles en PLCs modulares. El tipo preciso de entradas y salidas depende de la señal eléctrica a utilizar:

- Corriente alterna 24, 48, 120, 220 V. Salidas: triac, relevador.
- Corriente directa (digital) 24, 120 V. Entradas: *sink*, *source*. Salidas: Transistor PNP, transistor NPN, relevador.
- Corriente directa (analógica) 0 - 5, 0 - 10 V, 0 - 20, 4 - 20 mA. Entradas y salidas analógicas.

Tarjetas modulares inteligentes. Para los PLCs modulares, existen tarjetas con funciones específicas que relevan al microprocesador de las tareas que requieren de gran velocidad o de gran exactitud. Estas tarjetas se denominan inteligentes por contener un microprocesador dentro de ellas para su funcionamiento propio. El enlace al PLC se efectúa mediante el cable (bus) o tarjeta de respaldo y a la velocidad del CPU principal.

Las funciones que se encuentran en este tipo de tarjeta son de:

- Posicionamiento de servomecanismos.
- Contadores de alta velocidad.
- Transmisores de temperatura.
- Puerto de comunicación.

BUS. Los sistemas modulares requieren una conexión entre los distintos elementos del sistema, y esto se logra mediante un bastidor que a la vez es soporte mecánico de los mismos. Este bastidor contiene la conexión a la fuente de voltaje, así como el "bus" de direcciones y de datos con el que se comunican las tarjetas y el CPU.

En el caso de tener muchas tarjetas de entradas/salidas, o de requerirse éstas en otra parte de la máquina, a cierta distancia de la CPU, es necesario adaptar un bastidor adicional que sea continuación del original, con una conexión entre bastidores para la comunicación. Esta conexión, si es cercana, puede lograrse con un simple cable paralelo y; en otros casos, se requiere un procesador de comunicaciones para emplear fibra óptica o una red con protocolo establecida.

Fuente de poder. Por último, hace falta una fuente de voltaje para la operación de todos los componentes mencionados anteriormente. Ésta puede ser externa en los sistemas de PLC modulares, o interna en los PLC compactos.

Además, en caso de una interrupción del suministro eléctrico, para mantener la información en la memoria borrrable de tipo RAM, como la hora y fecha, y los registros de contadores, etc., se requiere una fuente auxiliar. En los PLCs compactos, un "capacitor" ya integrado en el sistema es suficiente, pero en los modulares es preciso adicionar una batería externa.

Programador. Aunque su uso sea eventual en un sistema, pueden emplearse desde un teclado con una pantalla de una línea de caracteres hasta una computadora personal para programar un PLC, siempre y cuando sean compatibles los sistemas y los programas empleados.

Con base en lo anterior, podemos clasificar a los PLC por tamaño, esto es, por el número de entradas/salidas que se pueden tener o conectar. Ejemplo: un PLC con 216 entradas/salidas permite la conexión de una combinación de entradas y salidas cuya suma no pase de 216.

Además del tamaño físico, es importante la velocidad de proceso del CPU y la memoria total que puede ser empleada para programas por el usuario. Ejemplo: un PLC con una velocidad de proceso de 1000 instrucciones en 0.8 ms promedio y memoria de 8KBytes (1 Byte = 8 bits).

Es necesario hacer notar que, después de procesar las instrucciones, el PLC se comunica externamente, realiza funciones de mantenimiento como verificar integridad de memoria, voltaje de batería, etc. En seguida, actualiza las salidas y a continuación lee las entradas. Con ello, el tiempo de proceso total puede llegar a ser el doble del programa de ejecución.

Los avances continúan y ahora el turno es nuevamente para los motores de los que ahora se pueden controlar electrónicamente la precisión del giro, la fuerza, el sentido de giro, etc.

Todo lo anterior se relaciona con la tecnología de la instrumentación que agrupa y estudia todos los dispositivos de entrada. Su principal elemento de estudio son los sensores. Tiene dos métodos de registro: analógico y digital; en éste la información presenta el valor de magnitudes físicas que varían en forma continua, proporcionando valores inestables y carentes de precisión. Estas magnitudes son enviadas a instrumentos analógicos clásicos, como los termómetros, los manómetros, los voltímetros, los amperímetros, etc.

Para el método digital, la información indica que la magnitud de lo que se pretende automatizar "existe" o "no existe", lo que hace indispensable adjudicar un valor a cada posibilidad: 1 "existe", 0 "no existe"; esto permite un funcionamiento discontinuo y de alta precisión.

En la selección de un sistema sensorial para una aplicación de automatización, el método digital es el que mejor se adapta a las condiciones del entorno, permitiendo una mejor operación de control y con parámetros definidos, como precisión (o exactitud), error, error de no linealidad, repetibilidad, reproducibilidad, sensibilidad, resolución,

rango banda muerta, corrimiento del cero, tiempo de respuesta, histéresis, función de transferencia, etc.

Hasta este nivel el desarrollo científico y tecnológico de la pirámide del aprendizaje de la automatización, carece de un sistema lógico de trabajo que le permita seguir evolucionando, así que es necesario situar en la parte central de la pirámide se encuentra el mecanismo regulador, el cual se clasifica en dos categorías:

- Sistema de lazo abierto es el que no recibe otras órdenes que las suministradas por el operador.
- Sistema de lazo cerrado es el que recibe información del operador y del sistema sensorial (retroalimentación).

Actualmente, el sistema de lazo cerrado es más utilizado en la automatización. Está provisto de una unidad de entrada, en la cual el operador introduce datos en forma de parámetros hacia el procesador, donde serán almacenados y ordenados de manera lógica con la producción. Además, la unidad de entrada recibe señales del entorno a través del sistema sensorial, permitiendo la adaptabilidad a las condiciones del proceso. Finalmente, la unidad de salida, en coordinación con sus antecesores, ejecuta los resultados de la producción.

De aquí en adelante, la automatización, relacionada con todo lo anterior es suficientemente eficiente y controlable, y además permite innovaciones como los servomotores eléctricos-hidráulicos, paso a paso y de CD, que no son más que motores inteligentes que se adaptan a las condiciones de su aplicación.

Otro avance de la tecnología lo ha constituido las Máquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN) y, más recientemente, las dotadas de control programable en computadora (CNC), que facilitan las operaciones de fresado, torneado, etc. Estas eran realizadas en grandes volúmenes de producción y por lo tanto ocasionaban fatiga al operador y mala calidad del producto además de no lograr los niveles de producción.

Generalmente, las máquinas de herramientas son controladas por medio de un computador, la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado.

Esto se rige por el siguiente proceso:

- Dibujo del procesamiento
- Programación.
- Interfase.
- Máquinas herramientas de CNC

La interfase entre el programador y la máquina herramienta de CNC se realiza mediante una memoria o una red local con la información del programa.

A esta tecnología del CNC se le agrega el sistema Computer Aided Design/Diseño Asistido por Computadora (CAD), que ofrece una posibilidad de integración en la

fabricación, El CAD, asiste al diseñador para que automáticamente pueda obtener el programa de mecanizado de las máquinas herramientas que intervienen en el proceso; para ello son necesarias una gran diversidad de conocimientos y la conjunción de especialistas en nichos específicos.

El sistema Computer Aided Manufacturing/Manufactura Asistida por Computadora (CAM), transforma de la materia prima mediante dispositivos especiales en un producto de consumo, diseñado bajo un concepto con apoyo del CAD. El sistema se cierra para formar el modelo automatizado con retroalimentación.

EL CAD/CAM requiere una configuración básica fundada en un sistema interactivo. El CAD tiene su función en el modelador, el dibujo y la simulación.

Las principales funciones del modelador son:

- Capacidad de generar.
- Manipulación de datos.
- Ensamble de partes del diseño.
- Intersección de superficies.
- Control sobre el dibujo para poder ver el modelo desde cualquier orientación.

Las principales funciones del modelo de dibujo son:

- Permitir el dimensionamiento dentro de un área específica.
- Facilitar la modificación de las dimensiones.

La función del modulo de simulación es:

- Crear la figura tridimensional sombreada a partir de polígonos que se van ensamblando en un diálogo interactivo con el modelador.

El CAM se apoya en el proceso de fabricación industrial continuo, el cual permite la fabricación de una gran variedad de productos dentro de un sistema flexible.

El CAM, es respaldado por maquinaria automática: robots, máquinas herramientas, máquinas especiales, etc., las cuales tienen una gran aplicación de conocimientos tecnológicos y puede ser obtenido un riguroso control administrativo.

Así, CAD/CAM es la opción para innovar el producto, conquistar mercados y la flexibilizar la producción.

Con esto empieza una etapa de fuertes inversiones, maquinas herramientas de CNC, herramientas y robots industriales, lo que agrupado forma una célula de trabajo, estableciendo con ello un conjunto de Sistemas Flexibles de Manufactura/ Flexible Manufacturing System (FMS).

Antes de seguir con las FMS, es necesario ubicar el término robot, el cual tiene sus orígenes en la ciencia ficción. Pueden distinguirse cinco niveles de complejidad en los robots.

El primer nivel corresponde al uso original de la palabra “robot”, contracción del checo robota, que significa esclavo. Difundida internacionalmente en 1921 por Karel Capek⁵ gracias su obra teatral Robots Universales de Roussum (*RUR*), se ha aplicado desde entonces a cualquier máquina que, independientemente de su tamaño, forma o movilidad, es capaz de realizar de forma desatendida y autónoma las acciones para las que ha sido diseñado.

Un segundo nivel de complejidad sería el de los robots con habilidades múltiples, capaces de realizar distintos trabajos mediante un simple cambio de su programación.

Un tercer nivel viene dado por la posibilidad de que el robot sea capaz de detectar las condiciones ambientales que lo rodean y efectuar sus tareas si esas condiciones son las adecuadas, o bien suspenderlas, diferirlas en el tiempo o intentar modificar en lo posible esas condiciones para realizar el trabajo.

El cuarto nivel es el de los robots capaces de autoprogramarse, esto es, aprender a relacionarse con las condiciones ambientales existentes con base en los acontecimientos pasados y aplicar la solución llamada inteligencia artificial (I. A.).

En la ciencia ficción, se suele atribuir a los robots un quinto nivel; el de la autoconciencia plena y una inteligencia que va más allá de la capacidad de autoaprendizaje mediante el método de prueba y error. A partir de esto, se desarrolla toda una serie de reflexiones acerca del impacto que estas máquinas, inteligentes pero supeditadas al control humano, tendrían en una sociedad futura.

Curiosamente, los autores que más han ahondado en el género (Asimov⁶, Lem⁷) han incidido sobre todo en la vertiente filosófica (¿hasta qué punto esa inteligencia, siendo tal, no es también humana?), imaginando futuro en los que una fuerza de trabajo relativamente barata, incansable y supuestamente nada conflictiva, sustituye progresivamente a la fuerza de trabajo humana, dejando una gran cantidad de la población para otras actividades.

⁵ Karel Capek Escritor de ciencia ficción checo que nació en Malé Svatonovice en 1890 y falleció en Praga en 1938. Sus estudios de filosofía fueron apenas un apoyo para su verdadera pasión: escribir. Novelista y periodista, fue un innovador en la literatura de su país y también, aunque poco reconocido, en la literatura universal (valga como ejemplo la palabra Robot, un invento suyo) su primera obra data de 1920 y se titula Los robots universales de Rossum; más tarde aparecerían La vida de los insectos (1921). Ello le supuso una fama que se acrecentó con las tres novelas siguientes La fábrica de lo absoluto (1922), El asunto Makropoulos (1922) y Krabatit (1924), todas ellas encuadradas, como su propia posición política, en una defensa de los trabajadores, de una humanización de la vida y del trabajo. Sin embargo, su obra más importante es La guerra de las salamandras (1936), una sátira inmisericorde sobre la condición humana, la política, y el orden establecido.

⁶ Isaac Asimov nació en 1920 en la Unión Soviética. Sus padres emigraron a Estados Unidos cuando él apenas tenía tres años. El propio Isaac consiguió la ciudadanía a la edad de ocho. En 1941, escribió el relato, ya clásico, *ANOCHECER*. Poco antes ya había empezado a publicar sus *HISTORIAS DE ROBOTS*, en las que introdujo las famosas tres leyes de la robótica, y poco después, siguiendo la pauta de *DECADENCIA Y CAÍDA DEL IMPERIO ROMANO*, comenzó su serie de la *FUNDACIÓN*. Falleció el 6 de abril de 1992.

⁷ Stanislaw Lem nació en 1921 en Lvov, ciudad de Ucrania que hasta 1939 perteneció a Polonia. Hijo único, pasó gran parte de su niñez en mundos de su propia creación, cuando no estaba desmontando cosas para ver cómo funcionaban. En su vida publica *HOMBRE DE MARTE*, *UN MINUTO HUMANO*, *VACÍO PERFECTO* y *CONGRESO DE FUTUROLOGÍA*.

En sus obras, Isaac Asimov imagina las leyes de la Robótica, las cuales controlarían el comportamiento de los robots:

- 1.- Un robot no puede dañar a un ser humano, ni por inacción, permitir que éste sea dañado.
- 2.- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos excepto cuando estas órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.
- 3.- Un robot debe proteger su propia existencia hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Para los fines industriales, el estudio de la robótica se centra en aspectos donde por cuestiones de **seguridad, calidad y producción** los robots tendrían un mejor desempeño.

Todo lo anterior contribuyó al desarrollo de nuevos sistemas de producción donde las aplicaciones de la robótica impactan en el campo industrial, ya que se caracterizan por sistemas cada vez más flexibles, versátiles y polivalentes, por el uso de nuevas estructuras mecánicas y por sus métodos de control y percepción. La robótica industrial se define como:

“El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poliarticuladas, dotadas de un determinado grado de inteligencia y destinado a la producción industrial y a la sustitución del hombre en tareas de riesgo extremo y repetibilidad”.

Básicamente, la robótica se ocupa de todo lo concerniente a los robots, lo cual incluye el control de motores, mecanismos automáticos, neumáticos, sensores, sistemas de cómputo, etc. Un robot es⁸:

Robot industrial: Un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas.

El robot industrial se diseña en función de diversos movimientos que debe poder ejecutar; es decir, lo que importa son su grado de libertad, su campo de trabajo, su comportamiento estático y dinámico.

Sus características geométricas le otorgan al robot la capacidad para desplazarse dentro de un espacio, espacio que está concebido en función de las configuraciones básicas. Estas configuraciones, en forma intercalada, hacen de un robot una máquina de movimientos interpolados, con lo que se logra una diversidad de aplicaciones en la industria.

El brazo del manipulador puede presentar cuatro configuraciones clásicas: la cartesiana, la cilíndrica, la polar y la angular.

Una vez establecida la teoría básica de un robot industrial, se está listo para definir los tipos de automatización⁹ que existen:

⁸ The International Federation of Robotics. World Robotics 2001, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. United Nations.

Una vez, que se elige el método de suministro de información del entorno y la energía de impulso del sistema, se ubica, en las condiciones del proceso y las formas de producir, a alguno de los tipos de automatización existentes:

- Fija
- Programable
- Flexible

La automatización fija consiste en una operación específica o una serie de operaciones en un proceso en particular, basado en un arreglo de tipo sincrónico.

Un sistema sincrónico, o sistema de unidades dependientes, puede tener una serie de unidades de máquina u operación en línea, en una máquina de transferencia alrededor de una mesa posicionadora, en una máquina rotatoria o circular. Cuando el trabajo se completa en todas las estaciones, todas las partes en el circuito se trasladan en forma simultánea a las estaciones subsecuentes y se inicia otro ciclo. El tiempo de un ciclo se basa en la operación más lenta, y se obtiene la máxima eficiencia cuando se hace que todos los tiempos de operación sean iguales y mínimos. Durante los cambios de herramienta y paros por ruptura, falla o error, todas las estaciones se detienen y la eficiencia disminuye conforme aumenta el número de estaciones.

La automatización fija tiene similitud con la producción taylorista y fordista, debido a la estructura de producción lineal y rígida.

La automatización programable consiste en generar infinidad de programas, según los tipos de productos requeridos por el cliente. Regularmente, este tipo de automatización está desintegrada y la carga de materiales es manual.

La automatización flexible consiste en la producción pequeña en una gran variedad de productos y de familias similares. El objetivo central de este sistema es lograr una economía de escala y una producción en masa de pequeños lotes de producción. Su arreglo es de tipo asincrónico.

Un sistema asincrónico, también llamado sistema de unidades independientes o de potencia libre, proporciona un banco de partes para alimentar cada máquina y permite que operen a su mayor velocidad. Cualquier máquina del sistema puede pararse en forma temporal sin detener las otras. Dicho sistema tiene alta eficiencia global y puede planearse para la mejor combinación de las máquinas. Para obtener un flujo en línea recta, los bancos de partes entre máquinas pueden estar contenidos en tolvas, almacenes, elevadores, etc. El flujo en paralelo es un arreglo de bancos de almacenamiento en transportadores entre las máquinas. Los transportadores pueden encimarse en el menor espacio posible adyacente a la línea.

⁹ La información que se utilizó para este apartado fue tomada de:

Juvenal Mendoza Valencia, Francisco López Monzalvo. La fábrica flexible, un paso más, Laboratorio de Automatización y Robótica, UPIICSA, México, 2002, p. 1-15.

Benjamin, Coriat. El Taller y el Cronómetro, Ensayo sobre el Taylorismo, el Fordismo y la Producción en Masa, Siglo XXI, Francia, 1982. p. 1-20.

Benjamin, Coriat. El Taller y el robot, Ensayo sobre el Fordismo y la Producción en Masa en la Era de la Electrónica, Siglo XXI, Francia, 1982. p. 1-66.

Benjamin, Coriat. Pensar al Revés, Trabajo y Organización en la Empresa Japonesa, Siglo XXI, Francia, 1982. p. 1-63.

Típicamente, los equipos que integran un sistema flexible son: almacén (funcionamiento neumático o eléctrico), banda transportadora, robots industriales y máquinas herramientas de CNC. Cada máquina forma una célula de manufactura; el conjunto, una celda comunicada por una red local. Un sistema de manufactura flexible tiene similitud con sistemas de producción Toyota.

Este conjunto de tecnologías de la automatización muestra en sus últimos tres niveles a los Sistemas de Manufactura Flexible (SMF), La Fabrica Automatizada (FA) y a la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) las cuales son la agrupación de todas las técnicas de automatización pero con un enfoque de un sistema de producción, cada sistema busca el mismo propósito, quizá con algunas variantes en sus objetivos, pero en todo momento el resultado es el mismo: optimizar las condiciones de **Seguridad, Calidad y Producción**.

Es importante mencionar que la manufactura actual puede ser totalmente manual, o semi-manual, y en algunos casos puede ser totalmente automatizada, esto hace que en el contexto de esta investigación se analice a la manufactura en todas sus variantes, brindando una comparativa entre estos sistemas y por tanto fundamentar que los sistemas automatizados son más eficientes.

2.4 Tipos de Manufactura¹⁰

2.4.1 Manufactura manual y semi-manual.

Involucra el armado de los componentes previamente manufacturados y/o sub-ensambles hacia un producto completo o una unidad de producto, llevado a cabo primordialmente por operadores humanos utilizando su destreza, habilidad y juicio inherentes. El operador puede estar en una estación de trabajo (banca) o ser parte de un sistema de transporte que mueva el producto mientras se va ensamblando. La manufactura manual es asistida con sistemas mecánicos para alimentar, manejar, colocar y supervisar operaciones. Ver figura 2.



Figura 2: Conceptualización de la manufactura manual.¹¹

¹⁰PT La información de este apartado proviene de:

Marvin L. Patterson with Sam Lightman. *UAccelerating innovation: Improving the process of product development*. Van Nostrand Reinhold, New York 1993. ISBN 0-422-01378-7. P. C. 179 188.

Este tipo de manufactura puede ser realizada en estaciones de tipo: Simple, Continua y/o Intermitente (sincrónica/no sincrónico) y en todo su actuar se basa en las 5 M's (Material, Mano de Obra, Maquinaria, Método y Medio Ambiente).

Su nivel de producción es bajo o moderado, dependiendo de la complejidad, número y tamaño de las partes de los componentes. (Estos factores también determinan el grado de asistencia mecánica requerida).

Se considera una manufactura de ensamble extremadamente flexible (muchas variantes de producción) por lo tanto muy comunes.

El uso de herramientas es intensivo pero son herramientas mecánicas básicas; lo que provoca una inversión relativamente baja.

En general este tipo de manufactura usa técnicas como el diseño para la manufactura y el ensamble (Design for Manufacture and Assembly) (DFMA) para desarrollar ensambles con la cantidad óptima de partes, mejorar componentes geométricos para alimentación, manejo, embobinado, revisión y reducción de costos totales de ensamble.

También se aplican métodos como llamado método de prueba y error (Poka-Yoke)¹² técnicas que ayuden a reducir errores de ensamble del operador prescribiendo características de los componentes y/o procedimientos de ensamble para ayudar la corrección del mismo; es decir es una manufactura grafica, lo que hace que la secuencia de ensamble sea optima en la línea.

Para los aspectos de calidad se tiene que en general los problemas de ensamble son causados por numerosos factores:

- Excedente de componentes o por estar debajo de las tolerancias establecidas.
- Des-alineamiento de componentes y ajuste de error.
- Defectos graves (malformaciones, falta de detalles, medidas incorrectas, daño por tránsito etc.).
- Materiales extraños causantes de contaminación y obstrucciones.
- Ausencia de componente debido al agotamiento en el abastecimiento o ineficiente alimentación.
- Componentes incorrectos causados por un mal abastecimiento o instrucciones.

¹¹ Las ilustraciones son obtenidas de manuales de equipos para manufactura manual y automatizada. Manual Production Systems, Rexroth Bosch Group, The Drive and Control. V 2.0.

¹² Poka-Yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La finalidad del Poka-Yoke es la eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible.

- Tecnología de ensamble inadecuada.
- El ensamblado manual no es recomendable para ambientes pesados. También el tamaño y peso de las partes a ensamblar debe ser considerado por seguridad en el manejo.
- Fatiga del operador, tiempos de descanso deben ser considerados, especialmente para operaciones repetitivas.
- Los errores de ensamble aumentan si los componentes o sub-ensambles son complejos, difíciles de alinear, insertar o de accesos restringidos para la inserción.
- Componentes de baja calidad pueden ser desechados durante la tarea de ensamble sin dificultad o grandes pérdidas por las capacidades de chequeo exhaustivas de los operadores.
- La continua alineación exacta de los componentes es de baja a moderada dependiendo en la complejidad de las partes, comúnmente $\pm 0.5\text{mm}$.

2.4.2 Manufactura Automatizada.

Los sistemas de manufactura automatizada emplean dispositivos de movimiento perpetuo controlado; para componer piezas manufacturadas previamente y/o sub-ensambladas en un producto terminado o unidad de producto. Cierta número de transferencias mecánicas, sistemas de alimentación, maquinas especiales y tipos de robots pueden ser utilizados para poder obtener un sistema general de ensamble.

Es una manufactura de uso intensivo de tecnología, hace una manufactura con valor agregado en su actuar, el cual es beneficiado en el alto nivel de conocimiento hacia el personal y la repetitividad del producto.¹³

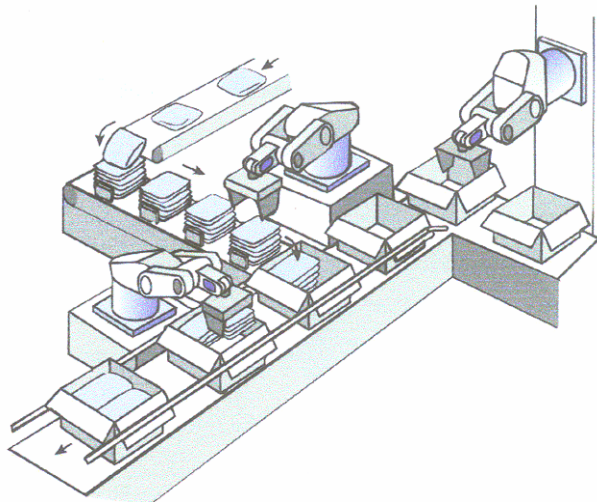


Figura 3. Conceptualización de la Manufactura Automatizada.¹⁴

¹³ Es importante decir que la automatización no proporciona calidad, pero si genera repetitividad lo que hace que se puedan emplear técnicas de control estadístico que permitan obtener la calidad deseada.

Es una manufactura que permite tener sistemas que pueden ser adaptados para ensamblar una variedad de productos con índices de producción moderados y una producción en gran volumen o moderada, su inversión en herramientas e integración de tecnología es alta, sus costos de mano de obra son bajos y requiere de especialización tecnológica por parte del personal. Ver figura 3.

Sus aplicaciones más comunes son ensambles generales, manejo de material y transferencia de las partes de ensamble, es de gran aplicación en ambientes pesados para el personal por ejemplo: radioactivos, tóxicos, esfuerzos físicos extremos, contaminantes y a altas temperaturas, son también ideales en operaciones de carga y descarga para un proceso de manufactura, ejemplos: centros de maquinado, secado a presión y máquinas de inyección de molde.

En cuestiones del diseño la manufactura automatizada contiene en su estructura una gran aporte tecnológico, su desarrollo está rodeado de diversas herramientas de ingeniería (Diagramas de operación, fundamentos teóricos, principios de operación,...etc.) además de apoyo con aplicaciones de software, llevando a una manufactura de visualización, es decir una Manufactura Digital (MD).

Estos dos sistemas de manufactura son funcionales para cada aplicación o beneficio, claro está que con sus deferentes ventajas y desventajas, sin embargo los dos deben poseer de la característica de flexibilidad y hasta en algunos casos su combinación entre ellos, ya que esto permite la innovación en el producto y capacidad de respuesta ante el mercado. Hay muchos autores que afirman que debe ser una manufactura flexible, y en ejecución; esto sí es válido.

2.4.3 Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (SMFA)

Un Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (SMFA) es un sistema de producción de bienes constituido por celdas de producción¹⁵. Ver figura 4.

Un SMFA está compuesto por:

- Una o varias máquinas-herramientas de control numérico computarizado (MHCNC); que desempeña tareas de maquinado sobre la base de una lista de instrucciones en clave con el uso de una lógica digital. Ellas son vistas como los recursos compartidos, usados por varios subprocesos.
- El Diseño Asistido por Computadora (CAD); que se utiliza para el diseño de objetos por computadora con capacidades interactivas y de medios gráficos, por

¹⁴ La ilustración es obtenida de: Tesis de Automatización para el proceso de la fundición nodular. Gabriel Hernández López. Sept. 2003, Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial. UPIICSA-IPN.

¹⁵ Una celda de producción es la unidad de producción con alta autonomía de operación, integrada por máquinas para fabricar un tipo de pieza o producto.

medio de las cuales las fases de diseño pueden hacerse visibles de una manera tridimensional.

- La Manufactura Asistida por Computadora (CAM); que utiliza los diseños creados por el CAD, y que a través de sus gráficos el especialista en manufactura determina las trayectorias de recorrido de las zonas que serán maquinadas o procesadas, así como también determina los parámetros de maquinado en base a los materiales de la herramienta y el material a procesar.
- Robot el cual es un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas, colocando de una manera sincronizada los materiales a ser manufacturados en el lugar de trabajo de acuerdo al ciclo del proceso a desarrollar [10].
- Dispositivos de salida (actuadores neumáticos, electroneumáticos e hidráulicos y electrohidráulicos), los cuales son los medios que habilitan o sujetan las partes que integran al producto.
- Dispositivos de entrada son todos aquellos sensores que alimentan al sistema con una señal digital, proveniente de la presencia de una parte del producto, el inicio y el final de una operación.
- Elemento de control que se encarga de coordinar todas las operaciones del SMF ([Cai86], [Hay91]).
- Una red de comunicación entre todas las células del SMF.

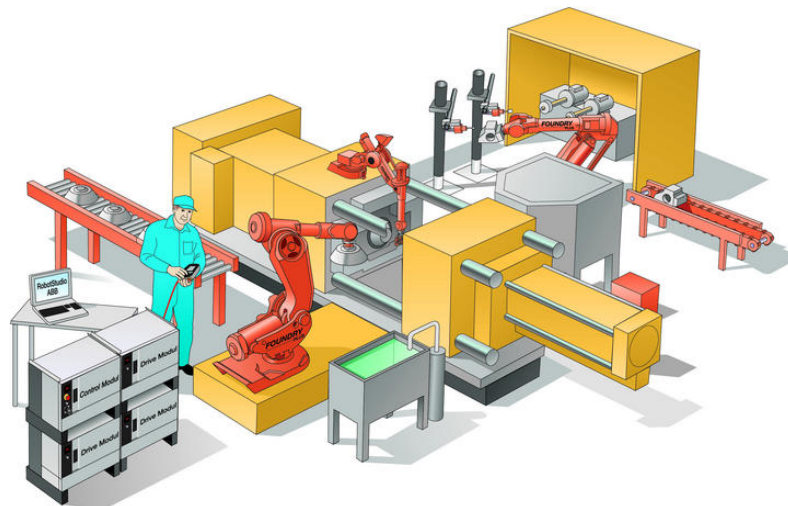


Figura 4. Conceptualización de un Sistema de Manufactura Flexible Automatizado.¹⁶

¹⁶ La ilustración es obtenida del sitio web de la Compañía ABB de su división Robótica Industrial; www.abb.com

Un SMF respecto a [2]: esta expresado como un grupo de células de manufactura entrelazadas mediante un sistema de automático de manipulación de materiales operado por una computadora central.¹⁷

“Sistema de Manufactura Flexible Automatizado. Un Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (SMFA) es un sistema integrado por Centros de Maquinado enlazados mediante un sistema de manejo de materiales de manera automatizada y procesados lógicamente.”

“Los SMF son un concepto avanzado de la forma de operar una empresa, donde se destacan las siguientes características:

- Grupos de trabajo formados por un número determinado de integrantes, responsables de un proceso completo a la producción de un bien o a la prestación de un servicio.
- Empleados y operativos poli funcionales, capacitados para realizar distintas actividades dentro de su equipo de trabajo.
- Máximo aprovechamiento de los recursos humanos y materiales involucrados en el proceso.
- Competitividad incrementada por resultados rentables, productos o servicios terminados y clientes satisfechos.
- Flexibilidad a los cambios de procesos, modelos o estilos.
- Total aprovechamiento de las áreas de trabajo.
- Reducción del inventario de proceso.

2.4.4 Estructura de los Sistemas de Manufactura Flexible Automatizados.

La estructura del SMFA requiere de un conjunto de elementos de control y administración en su actuar, y con un enfoque de manufactura aplicada, iniciando por la planificación del proceso.

2.4.5 Planeación de Procesos (PP)

Realmente en esta etapa del proceso productivo el elemento relevante de control y funcionalidad es la PP ya que permite definir cada una de las tareas a realizar en la manufactura.

¹⁷ David M Upton. A FLEXIBLE STRUCTURE FOR COMPUTER-CONTROLLED MANUFACTURING SYSTEMS, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, MA 02163 E-mail: upton@stig.harvard.edu. Copyright (c) 1994 Harvard Business School A version of this paper appeared in Manufacturing Review Volume 5 (1), 1992 pp. 58-74.

Por tanto el objetivo de la PP es obtener la mejor manera de manufacturar, mediante herramientas de apoyo que aporten información de utilidad en la fabricación de diversas piezas.

Es importante mencionar que la PP relacionada con el contexto tecnología avanzada y aplicada se convierte en información contenida en un sistema digital que constantemente se está alimentando de nuevos productos, por tanto, la PP se convierte en una Planeación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP); por sus siglas en Ingles Computer Aided Process Planning.

Los conceptos básicos utilizados en la planeación de procesos son:

La transformación de materias primas y la obtención de productos manufacturados requieren del estudio y análisis de actividades tales como: operaciones de manufactura, selección y distribución de maquinaria, accesorios y herramientas, materiales, tiempos y movimientos, control, sincronización de procesos, etc. Todas estas actividades son desarrolladas en la PP, es el subsistema responsable de realizar la conversión de datos de diseño a instrucciones de trabajo.

Pero este concepto es insuficiente para describir a la PP; en consecuencia se plantea en forma independiente a cada término.

1. Proceso es:

“Un conjunto de actividades con orden para lograr un objetivo.”

Y 2. Manufactura es:

“La aplicación de fenómenos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados, involucrando una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. La manufactura se realiza casi siempre como una sucesión de operaciones.”

Como resultado de estos dos términos, se tiene que el concepto de PP más propio es:

Consiste en decidir cuál es la secuencia óptima de operaciones a seguir para manufacturar una pieza; lo cual representa un proceso complejo que requiere de una gran variedad de conocimientos en diseño y manufactura.

La PP es considerada como la parte medular del diseño e implementación de los sistemas de manufactura. Consiste en la generación de un plan preliminar y detallado de los procesos.

2.4.6 Planeación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP).

Para el auxilio de la PP existen diversas herramientas tecnológicas que han sido desarrolladas para facilitar la difícil tarea de generar toda la información, era difícil

porque con el paso del tiempo pasaba a ser obsoleta; es decir era documentación muerta, ya que para un cambio en el producto o una especificación nueva, se requería de su creación desde el inicio, esto consumía tiempo, lo que representaba débil capacidad de respuesta en el actuar de cualquier empresa. Ante este tipo de dificultades, cada compañía empezó a emplear sistemas basados en el uso de herramientas computacionales, como son paquetes básicos de registro de información, bases de datos y hasta ocupar herramientas de diseño en 2 dimensiones; era una etapa de crecimiento tecnológico el cual hoy en día ha desatado un desarrollo inmenso de capacidades computacionales denominadas Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD) (CAM) o por sus siglas en Ingles CAD/CAM, esto ha conducido al concepto de Planeación de Procesos Asistido por Computadora (CAPP) por sus siglas en Ingles. El CAPP es una asistencia finita de herramientas computacionales que se utilizan para auxiliar las actividades del diseño, de la manufactura y de la planeación de procesos, siendo el diseño asistido por computadora CAD un elemento fundamental en la nueva tecnología de los sistemas de manufactura.

Regresando a la pirámide que conjunta las Tecnologías de la Automatización se observa un rubro que es definido como control; que para los términos de manufactura es el sinónimo de PP, el control es visto como el organizador de todas las tecnologías incluidas en la pirámide, por ejemplo cuando se aplico por primera vez la técnica del Control Numérico (CN) y el Lenguaje de programación avanzado; y el cuál consiste en un sistema de cómputo inteligente que sirve para determinar la secuencia óptima de operaciones para la manufactura de una pieza se decía que se tenía control sobre el proceso y hasta cierto punto eso era verdad, pero hacía falta algo para integrar a la manufactura en un solo sistema, ya que se opera en forma independiente muchas herramientas, mucha información y toda desintegrada.

Los sistemas de CAPP se forman de dos formas: 1. Variante; y 2. Generativo, siendo una de sus principales tareas la determinación de las secuencias de operación en la manufactura de piezas o componentes.

En el Sistema Variante (llamado también Sistema Derivativo), los archivos de cómputo contienen un plan patrón de proceso para la pieza que se va a fabricar. Con el número de clave de la pieza se hace la búsqueda de un plan regular, el cual se basa en su forma geométrica y sus características de manufactura. El plan regular se llama, se presenta para su revisión y se imprime en forma de hoja de proceso.

En el Sistema Generativo (llamado también Sistema Automático), obtiene el plan de proceso a través de información básica del producto, el sistema puede ser complicado al inicio; porque debe contener conocimientos claros y detallados de la forma y dimensiones de la pieza, las posibilidades de proceso, la selección de métodos, maquinaria y herramientas de manufactura y el orden de las operaciones que serán desarrolladas. Estas funciones de las computadoras caen dentro del campo de los sistemas expertos.

Pero este sistema es capaz de crear un nuevo plan, en lugar de tener que usar y modificar uno existente. Sus ventajas son: a) flexibilidad y consistencia en la planeación de proceso para piezas nuevas y b) mayor calidad general de planeación, por la

capacidad de la lógica de decisiones en el sistema, para optimizar la planeación y utilizar la tecnología actualizada de manufactura.

Este último sistema permite transformar la información a un proceso de simulación de proceso, debido a que se cuenta con una cadena de información grafica además de especificaciones concretas de manufactura.

2.4.7 Simulación de Procesos.¹⁸

El proceso de Simulación es una herramienta que ayuda a interpretar el funcionamiento de operación de un proceso sin la necesidad de hacer grandes inversiones económicas en equipos o grandes maquetas, la simulación proporciona un estimado muy cerca de la realidad de cómo serían las cosas o de cómo son las cosas, esto es una aplicación muy poderosa para poder obtener reportes como los siguientes:

- Eventos Discretos.
- Cuellos de Botella
- Diagramas Gantt
- Desempeño de la Planta
- Comportamiento dinámico de la planta
- Teorías de colas
- Costos de inversión
- Experimentos estocásticos
- Asegurarse que operan en su máxima eficiencia
- productividad de sistemas existentes
- Costos reducidos de nuevos sistemas
- El ciclo de producción e inventarios

En la figura 5 se muestran dos imágenes de un proceso de simulación a través de una herramienta computacional, permitiendo visualizar en 3 dimensiones a toda la planta del proceso y además de ver el recorrido de materia prima, tiempos de recorrido y muchas cosas más que son vitales para la manufactura flexible.

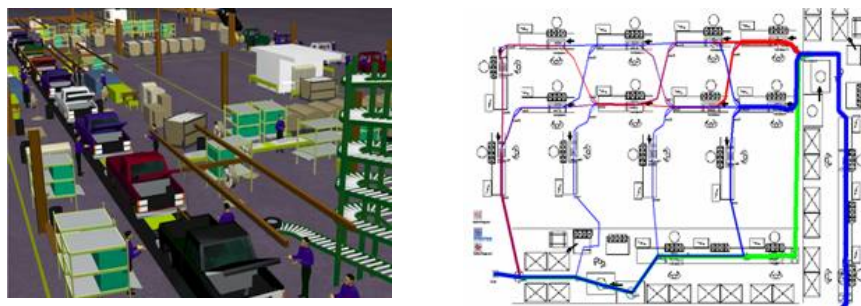


Figura 5. Sistema de Simulación de Planta basado en herramientas computacionales.¹⁹

¹⁸ Para este apartado se recurrió a los siguientes libros:

Stanislaw Raczynski, Simulación por Computadora, Grupo Noriega

Bernard Zeigler, Theory of Modeling and Simulation, John Wiley, 1976

G. Gordon, The Application of GPSS to Discrete System Simulation, Prentice 1975

Stanislaw Raczynski, Modeling and Simulation: Computer Science of Illusion, Wiley / Research Studies Press, Inglaterra, abril 2006

Stanislaw Raczynski, Simulation Encyclopedia, <http://www.raczynski.com/pn/updenc.htm>

Además de todo lo anterior la simulación del proceso es una de las primeras ideas de la Manufactura Integrada por Computadora (CIM), debido a que engloba a todas las partes del sistema de la Empresa, la figura 6 muestra en concreto este concepto.

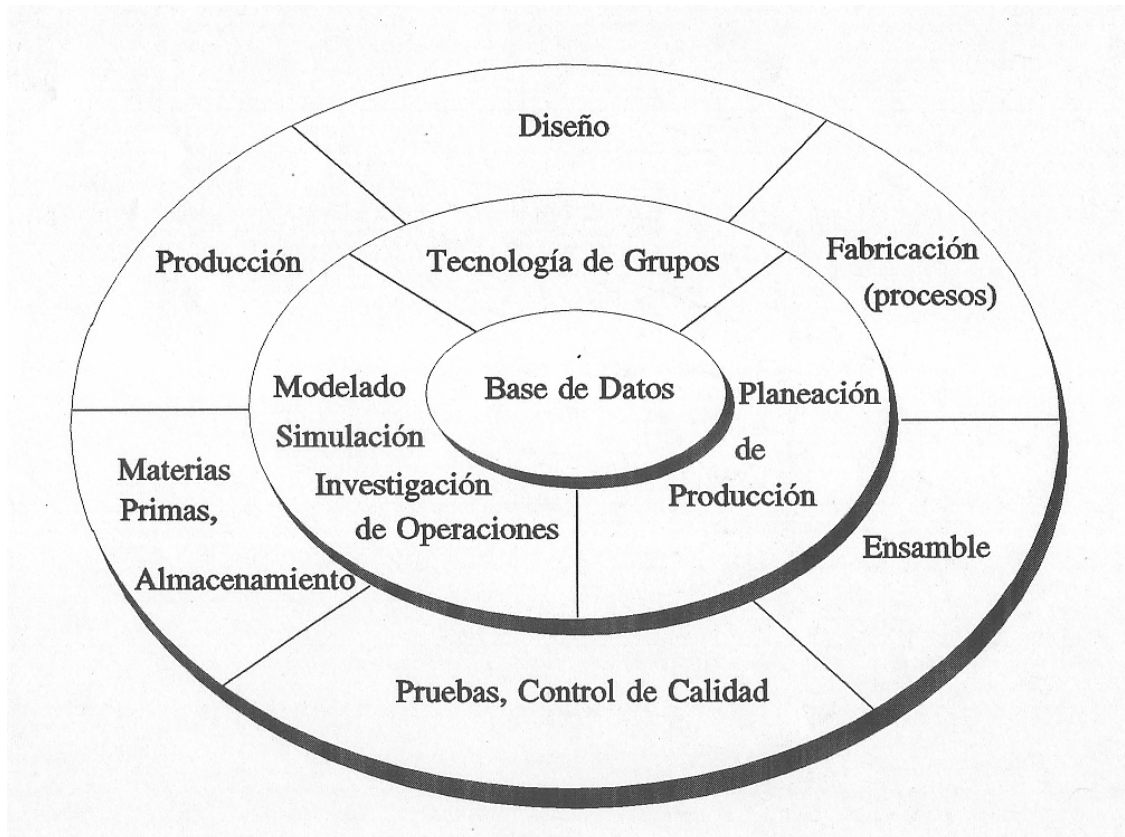


Figura 6. Conceptualización de la Simulación de Procesos y de la Manufactura Integrada por computadora (CIM), Según Dr. Inyong Ham, The Pennsylvania State University, Creador de la Tecnología de Grupos.²⁰

El proceso de simulación es sencillo, sin embargo muchas veces su desarrollo o generación es complicado, por esta razón y retomando la idea que se planteó al inicio del texto; de que la tecnología debe ser una herramienta de fácil uso, si la tecnología es difícil de entender y difícil de usar, es una tecnología que no sirve. Lo anterior se deriva de aplicaciones de simulación industrial que representan rutas, números y especificaciones robustas, no quiere decir que las rutas, números y especificaciones no sirvan, pero que su manejo e inserción a la aplicación sean de lo más fácil y que su interpretación sea directa y no se tenga que recurrir a un experto en interpretación de resultados, estos últimos son los que sirven para la toma de decisiones y por tanto la eficiencia de la herramienta.

La metodología para lograr la aplicación de un proceso de simulación del proceso es necesario seguir lo siguiente:

¹⁹ La ilustración es obtenida de Stansilaw Raczynski, Modeling and Simulation: Computer Science of Illusion, Wiley / Research Studies Press, Inglaterra, abril 2006.

²⁰ La ilustración es obtenida de Stansilaw Raczynski, Modeling and Simulation: Computer Science of Illusion, Wiley / Research Studies Press, Inglaterra, abril 2006.

MODELADO Y SIMULACION

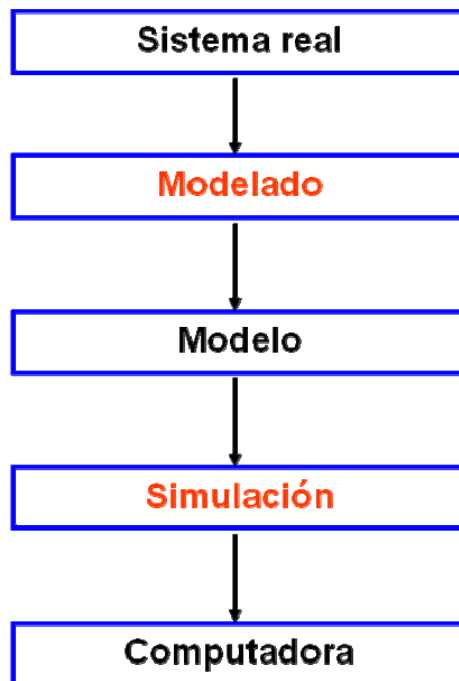


Figura 7. Metodología de aplicación de un proceso de simulación.²¹

Lo anterior conduce a organizar la manufactura bajo un concepto llamado Manufactura Digitalizada (MD), ya que la información esta captura en parte, se puede lograr desarrollar todo un sistema de información de todo el proceso de producción.

2.4.8 Manufactura Digital.

Es un concepto integrador que permite que la información esta contenida en forma digital logrando que el conocimiento (Know-How) del sistema sea colectivo además de que su forma de presentación sea muy grafico, es decir la MD es amigable para el usuario además los datos son verdaderos con respeto a las especificaciones del sistema; si las modificaciones que se realizaran en alguna parte del sistema se actualizarían inmediatamente poniendo al tanto a todos los usuarios, notificando quien realizo la modificación, causa, donde y el porqué, es un sistema que involucra toda una red de herramientas para hacer que el sistema funcione por sí solo.

El sistema de MD bajo su concepto de información compartida permite una conexión global, es decir el sistema puede ser alimentado desde cualquier parte del mundo, cualquier miembro de la empresa puede ingresar, claro esta que existen niveles de ejecución, y no es por seguridad del sistema, lo que sucede es que para ciertos niveles la MD es controlada por el nivel de conocimiento, y ante este punto es obvio que las modificaciones serán visualizadas; es un concepto que cae en términos de autonomía o

²¹ La ilustración es de obtenida Stansilaw Raczynski, Modeling and Simulation: Computer Science of Illusion, Wiley / Research Studies Press, Inglaterra, abril 2006.

como algunos autores del oriente llaman automatización²² del trabajador, es un sistema que permite el control por las personas dejando la custodia o responsabilidad a los usuarios.

Finalmente la MD es una herramienta que maneja la información en forma visual, es decir; se apoyo para su programación e interpretación de gráficos ver figura 8, y considerando esto se puede designar variables y características en cada parte del sistema, todo se ha convertido en un concepto de visualización que hace que las cosas sean más sencillas.



Figura 8. Visualización de una planta bajo el concepto MD.²³

La MD permite en general:

- Crear modelos de Plantas Industriales de la manera más rápida posible.
- Asegurar que dichos modelos operan en su máxima eficiencia antes de iniciar cualquier operación.
- Diseño y análisis de Planta.
- Costo y manejo de materiales.
- Simulación de la Producción.
- Diseño digitales de instalaciones de planta.
- Levantamiento de instalaciones de planta en 3D.
- Optimización de instalaciones de planta.
- Manejo de materiales para reducir trabajo.
- Minimizar costos de mano de obra indirecta.
- Analizar lista de materiales y capacidad de cálculo de costos.
- Optimizar y analizar manejo de materiales.
- Cuantificar y compara costos de instalaciones de planta alternativos.
- Identificar y reduce costos de manejos de materiales innecesarios.
- Generar diagrama de Flujo de materiales directamente en el modelo de planta.

²² Es un concepto del Sistema de Producción TOYOTA, que ha sido el eslabón del éxito del sistema de producción del Japón en los años 80.

²³ La ilustración es obtenida de UGS-SIEMENS, TECNOMATIX aplicación de MD en los procesos industriales.

- Calcular diagramas de congestión de pasillos.
- Calcular las necesidades del equipo de manejo de materiales.
- Empacar contenedores en áreas de almacén.
- Analizar las rutas que un operador camina.
- Calcular la utilización de los montacargas.
- Optimizar las rutas de los montacargas basados en las necesidades del material.

Un ejemplo de los beneficios directos de la MD es la programación fuera de línea, esta herramienta que permite a través de un ambiente virtual se pueda crear la instalación de planta, o bien el equipo en cuestión y sin detener la línea de producción o el SMFA obteniendo toda la programación de la operación y además se puedan hacer simulaciones para mejorar las condiciones de operación, claro está que hasta hacer análisis de tiempos, rutas más cortas y hasta observar si las condiciones de seguridad son estables. La figura 9 muestra la escenificación de la programación fuera de línea.

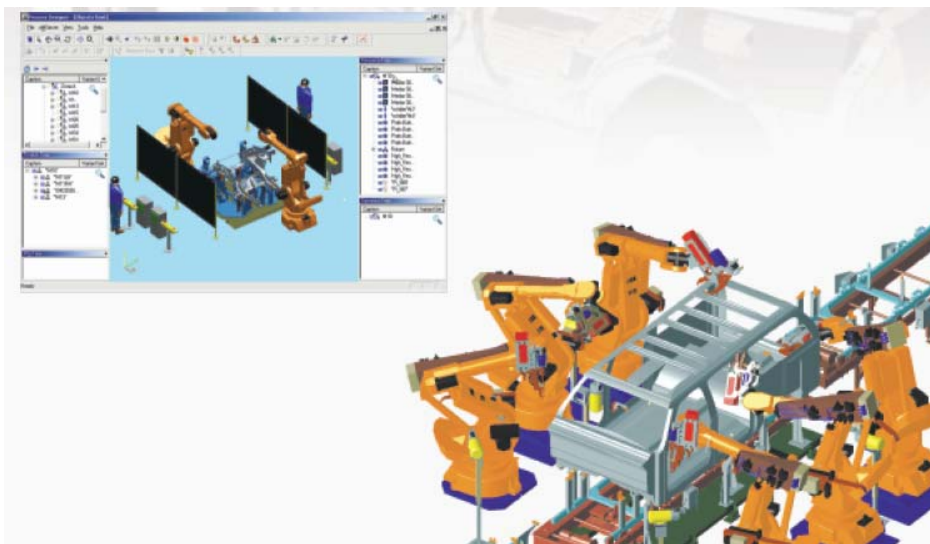


Figura 9. Programación fuera de línea usada en las aplicaciones de MD.²⁴

Para el óptimo funcionamiento de la MD y de todo el concepto del SMFA es necesario utilizar un sistema robusto de procesamiento de la información, y que pueda funcionar en un ambiente controlado; donde el manejo de todas las variables del sistema estén en sincronía entre ellas, lo que significa que se puedan realizar todas sus tareas en Tiempo Real (TR), esto significa que debe cumplir con propiedades específicas de un Sistema en Tiempo Real (STR), el capítulo siguiente describe lo que significa TR, STR y hace una mezcla con el SMFA llegando a un concepto de SMFATR, esto se hace debido a que muchas veces la Industria Mexicana considera que su proceso está funcionando en TR, o que el manejo de la Información está en TR, o en otras ocasiones se dice que el proceso se está ejecutando en TR, y así existe toda una gama de descripciones de operación que aseguran estar procesando en TR, la verdad es que existe una confusión de términos, conceptos e ideas, por tanto a continuación se hace una descripción analítica que define a un SMFATR.

²⁴ La ilustración es obtenida de La ilustración es obtenida de UGS-SIEMENS, TECNOMATIX aplicación de MD en los procesos industriales.

3

Sistema de Manufactura Flexible Automatizada en Tiempo Real.

En el capítulo anterior se definió y ejemplificó a los SMFA empleado en sector industrial y en el sector educativo. Pero su desarrollo como un Sistema de Manufactura Flexible Automatizada en Tiempo Real (SMFATR)²⁵ no ha tenido hasta hoy una descripción como tal, por ejemplo la programación de interconexión entre las diferentes células sea a desarrollado sin describirla como de TR; aunque su operación cumple las condiciones de esta clase de sistemas.

En este apartado, se empatan los de SMFA y STR como un sólo concepto expresándose como Sistemas de Manufactura Flexible Automatizada en Tiempo Real (SMFTR).

En [Gue05] y [Med08], se señala que los sistemas de tiempo real pueden ser descritos en diferentes formas, tales como:

- a) Sistema donde la emisión de información no cuenta con tolerancias de tiempo (el intervalo de tiempo obtenido por la diferencia entre los tiempos de entrada y de salida esta acotado) de acuerdo algún criterio previamente establecido para el sistema, buscando que la entrega de información sea aceptable por el sistema con que interactúa.
- b) Sistema que responde a estímulos externos en un periodo de tiempo finito.
- c) Sistema que requiere reaccionar a estímulos del medio ambiente con los intervalos de respuesta adaptables al medio donde se encuentre operando.
- d) Sistema de control en lazo cerrado que considera los tiempos de las entradas, procesamiento de la información y la emisión de respuestas, todos ellos acotadas de acuerdo a los requerimientos del sistema con que interactúa.
- e) Computador de monitoreo y control que recibe procesa y envía información de acuerdo a los requerimientos de tiempo impuestos por el sistema con que interactúa.

²⁵ Esta apartado es una publicación en el ISI BOOK WSEAS y presentado en el Congreso Internacional WSEAS ACMOS, Estambul Turquía Mayo 2008, Numero de artículo: 847-404. <http://www.wseas.org/conferences/2008/istanbul/acmos/>

- f) Sistema digital formado por la recepción, emisión y entrega de información hacia el sistema con que interactúa de acuerdo a los criterios de tiempo establecidos por [Nyquist], y [Kotelnikov], (ver: [Med08]).

Los sistemas de tiempo real [Med08], están compuestos por un sistema de monitoreo - control y un sistema a controlar; ambos con sus respectivos acoplamientos de entrada - salida, donde:

La triada ordenada $\{\delta_k^{in}, \delta_k^{out}, \tau_k\} \subseteq \Omega$, donde δ_k^{in} y δ_k^{out} representan los datos de entrada y salida, respectivamente, así como τ_k , las restricciones de tiempo establecidas para el intervalo en que se debe dar respuesta por parte del sistema digital a un estímulo recibido, en $k \in \mathbb{Z}_+$: τ_k es el intervalo de tiempo en que se realizan todas las tareas por el sistema digital para lograr una interacción adecuada entre ambos sistemas [Med08].

Las Tareas en Tiempo Real (TTR), son las entidades ejecutables de trabajo $J_{i,k}$ dentro del sistema digital²⁶ que operan en tiempo real y que en forma mínima están caracterizadas por un tiempo de arribo y una restricción temporal para la entrega de respuestas con restricciones temporales. Además cada una de ellas está formada por un conjunto de instancias $\{j_{l,k}\}_{l=\overline{1,i}}$ entrelazadas con un fin en común; es decir $J_{i,k}$ está formado por el conjunto específico de instancias necesarias para realizar una tarea dentro de un intervalo de tiempo indexado con k , simbólicamente se expresa como $J_{i,k} = esp\{j_{l,k} : l = \overline{1,i}, i, k \in \mathbb{Z}_+\}$ ²⁷, donde: $j_{l,k}$ es la unidad de trabajo atómica de una tarea $J_{i,k}$, tal que esté definida $j_{l,k} := (\tau(l_{l,k}), \tau(c_{l,k}), \tau(f_{l,k}), D_{Max,l,k})$, $l, k \in \mathbb{Z}_+$ ²⁸ (ver la Figura 10): Tiempo de arribo $\tau(l_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia se considera lista para ser ejecutada, avisando al procesador de su situación. Tiempo de ejecución $\tau(c_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR; J_i realiza la operación asignada, donde $0 \leq \tau(c_{l,k})$. Tiempo de finalizado $\tau(f_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR J_i termina la ejecución de la operación, sin considerar los desalojos de ésta en el procesador. Tiempo de finalizado máximo $\tau(D_{Max,l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR J_i termina la ejecución de la operación, considerando los desalojos de ésta en el procesador. Plazo $\tau(d_{l,k})$ es el tiempo en el que la respuesta de instancia debe ser entregada sin demoras, tiempo establecido de acuerdo a los criterios especificados en la tarea $J_{i,k}$. De forma que el tiempo de entrega de la instancia debe ser menor o igual al tiempo requerido para que se realice esa instancia: $\tau(D_{Max,l,k}) \leq \tau(d_{l,k})$.

²⁶ La entidad es la parte esencial de un STR

²⁷ $esp\{j_{l,k}\}$ es el conjunto específico de instancias necesarias para realizar una tarea dentro de un intervalo de tiempo indexado con k .

²⁸ Para SMF se utiliza el término de operación y en el contexto de TR, se utiliza el término instancia.

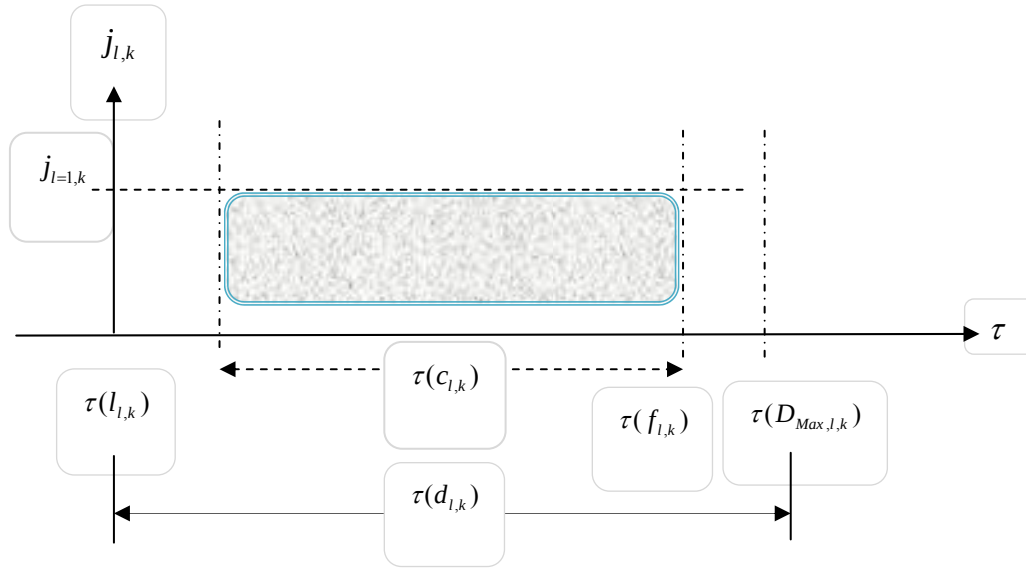


Figura 10. Elementos temporales de una instancia dentro de una tarea de tiempo real

Un STR requiere de acuerdo con [Med08] cumplir con los conceptos de observabilidad, estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad expresados [Kalman] y [Cai86], ya que de lo contrario tendríamos a un sistema digital que recibe y da información sin saber con qué calidad cuenta y menos saber si es o no adecuada.

De manera interna los STR necesitan de la sincronía de las instancias que conforman a la tarea e igual ocurre con el grupo de tareas que da vida al sistema de monitoreo - control. De manera externa el tiempo de respuesta del STR, requiere de estar en sincronía en la evolución temporal del sistema a monitorear y controlar, cumpliendo con [Nyq28]; es decir $\tau(d_{l,k}) \leq \frac{1}{2f_{\max}(\text{sistema a observar y controlar})}$.

Considerando de acuerdo a lo anterior, un STR es descrito como:

Definición 2 (Sistema en Tiempo Real (STR)). Es un sistema $\{\delta_k^{in}, \delta_k^{out}, \tau_k\} \subseteq \Omega$ de monitoreo y control del tipo digital síncrono con acoplamientos en un sentido temporal de entrada δ_k^{in} y salida δ_k^{out} que cumplen con lo establecido en [Nyq28] y [Kotelnikov] respecto a las propiedades del sistema con que interactúa $\tau(D_{Max,l,k}) \leq \tau(d_{l,k})$, ($\tau(D_{Max,l,k})$ es el tiempo de finalizado máximo del sistema digital respecto del sistema con que interactúa,) sin perder sus propiedades de observabilidad, estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad expresados en [Kalman] y [Cai86].

Al considerar las propiedades de los sistemas en tiempo real dentro de los sistemas de manufactura flexible, se requiere que el desarrollo de los productos a través de las células de manufactura así como su traslado de las materias, cuenten con una sincronía y tiempos específicos de operación, requiriendo en términos generales dentro del sistema digital de la planificación del grupo de tareas requeridas cumpla con todos las restricciones de los lotes a desarrollarse dentro de un intervalo de tiempo determinado.

Enfocándonos en este trabajo tan solo a la conceptualización de las celdas de manufactura flexible en tiempo real.

1 Sistema de manufactura flexible en tiempo real (SMFATR).

Un SMF está dinámicamente interactuando con su medio ambiente de acuerdo a un grupo de proyectos en específico recibiendo e integrando tanto insumos como productos, respectivamente de acuerdo a los lotes considerados a desarrollarse en un intervalo de tiempo. Es así como el SMFA, se encuentra afectado por un grupo de estados y operaciones dentro de la cadena que compone su sistema productivo en hardware, software, y en una combinación de ambos. Los cambios que se realizarán en el orden de uso de las células de manufactura para obtener una secuencia de productos para alimentar a los lotes de producción solicitados, se debe al: *a) Número de productos a fabricar por cada lote., b) Ciclo de vida del producto dentro del proceso de manufactura, es decir, el grupo de células a utilizar en un orden, considerando allí a los traslados, los tiempos muertos así como el grupo de acondicionamientos que debe tener la célula a utilizar con el fin específico., c) Conjunto de productos a manufacturarse por lote en un tiempo límite preestablecido, para el conjunto.*

Esto trae como consecuencia la preparación de los ciclos de trabajo dentro del SMF es decir, la programación de los diferentes elementos automáticos (robots, actuadores, centros de maquinado, sistemas de inspección, etc.), el registro de información en relación a las tolerancias y tipo de calidad del producto, cumpliendo con especificaciones predeterminadas por el grupo de diseños a desarrollarse en el SMF. En este trabajo se considera que el sistema de control central es del tipo concurrente, de forma tal que la planificación se realiza con un solo procesador, y con asignación de recursos de manera secuencial, buscando ante todo la entrega total de los lotes en un intervalo de tiempo preestablecido. Dadas estas propiedades se puede desarrollar un SMFATR.

Definición (Instancia): Es la unidad de operación atómica en una célula de manufactura $J_{i,k}$, tal que $j_{l,k} := (\tau(l_{l,k}), \tau(c_{l,k}), \tau(f_{l,k}), D_{Max,l,k})$, $l, k \in Z_+ [^{29}]$ (ver la Figura 10):

- Tiempo de arribo $\tau(l_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia se considera lista para ser ejecutada, avisando al procesador de su situación.
- Tiempo de procesamiento $\tau(c_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR; J_i realiza la operación asignada, donde $0 \leq \tau(c_{l,k})$.
- Tiempo de entrega del procesamiento $\tau(f_{l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR J_i termina la ejecución de la operación, sin considerar los desalojos de ésta en el procesador.

²⁹ Para SMF se utiliza el término de operación y en el contexto de TR, se utiliza el término instancia.

- Tiempo de entrega máximo $\tau(D_{Max,l,k})$, es el tiempo en que la instancia con índice de intervalo de tiempo k de la TTR J_i termina la ejecución de la operación, considerando los desalojos de ésta en el procesador.
 - Plazo $\tau(d_{l,k})$ es el tiempo en el que la respuesta de instancia debe ser entregada sin demoras, tiempo establecido de acuerdo a los criterios especificados en la tarea $J_{i,k}$. De forma que el tiempo de entrega de la instancia debe ser menor o igual al tiempo requerido para que se realice esa instancia: $\tau(D_{Max,l,k}) \leq \tau(d_{l,k})$.
- I. Definición (Tarea-célula (C_j^i)). Es entidad ejecutable de trabajo que realiza una célula de manufactura dentro de un proceso de producción, formada por un grupo de instancias que conforma a la célula³⁰.

Definición (Proceso de producción). Conjunto finito de tarea - células $\{C_j^i, i, j \in Z_+\}$ ya que cuentan con la propiedad en común de ser parte en la realización y obtención de un producto final de manera puntual o un grupo de productos que conformen un lote dentro del SMF. Sus respectivas (I/O) entradas (I=input) y salidas (O=output), dentro de cada tarea célula pueden tener las siguientes relaciones: SISO, MISO, SIMO, MIMO (I= input, O = output, S = single, M= multiple); cumpliendo en forma individual con las restricciones temporales impuestas a los elementos de cada ciclo de proceso sin que demerite con ello la calidad de su respuesta (ver la Figura11).

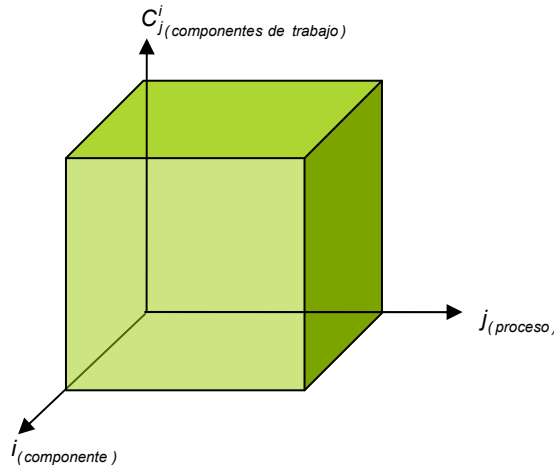


Figura 11. Componentes de trabajo de un proceso de producción a través de la manufactura flexible.

La cardinalidad del conjunto de componentes o tarea- células en un SMF es finita, es decir, $\# \{C_j^i, i, j \in Z_+\} < \infty$ ³¹.

³⁰ Los super y subíndices, representan al número de tarea y al ciclo del proceso de manufactura dentro del lote de producción, respectivamente

³¹ El símbolo #, representa a la cardinalidad (ver: [Ash])

Uno de los elementos esenciales dentro de la SMFA es la tarea - célula de manufactura, la cual cuenta con un grupo de instancias, con entradas, salidas, así como un ciclo de vida, quedando descrita de manera ilustrativa en la Figura 12. El otro elemento esencial es referente a la tarea –transporte.

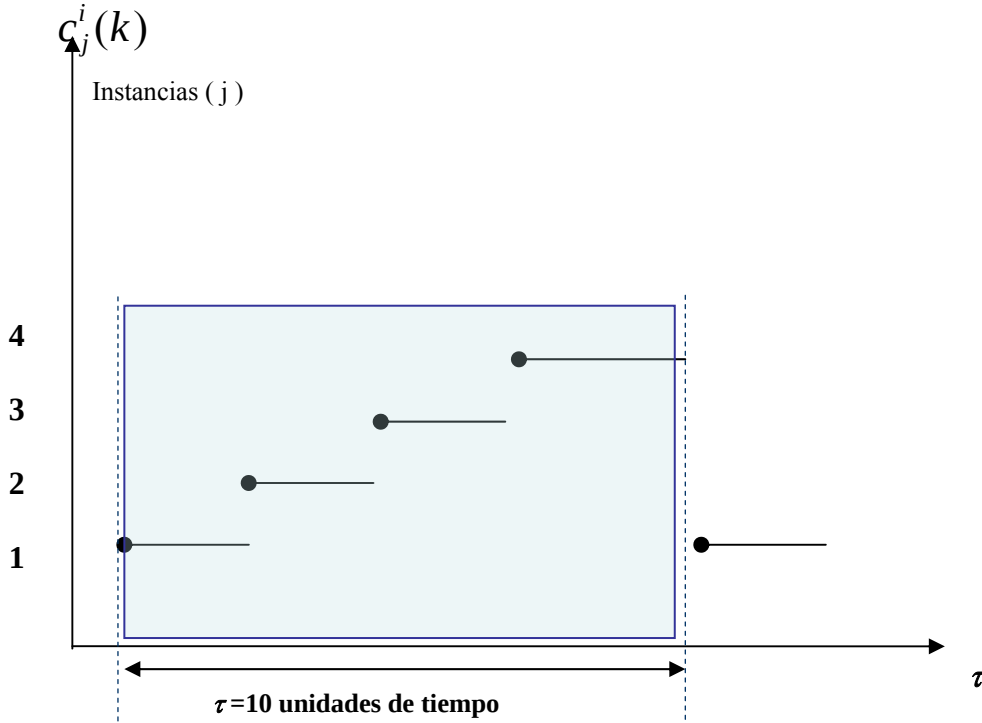


Figura 12. Instancia unidad de tiempo.

De manera ilustrativa se observa una tarea - célula (con $j=1$) formada por cuatro instancias ($m=1, \dots, 4$), operando de manera concurrente se encuentra acotado en dentro del intervalo de tiempo $\tau=10$ unidades de tiempo.

Cada tarea - célula de manufactura $C_j^i(k) := \{(u_k^m, c_k^m, y_k^m) : m = \overline{1, j}\}$, $m = \overline{1, j}$, tiene un orden respecto al lote en que realizará la manufactura i , un índice del ciclo donde se encuentra k y el número de instancias que la compone j ; quedando acotada temporalmente por un plazo $\tau(d_{i,k})$, al que se le llamará plazo de la tarea - célula de manufactura.

Las instancias dentro de la tarea - célula son las mínimas operaciones a realizarse dentro de la célula de manufactura, siendo indivisibles. Simbólicamente la instancia $c_k^m \in C_j^i$ descrita por la triada (u_k^m, c_k^m, y_k^m) , considerando que al ser un sistema digital la $\#\{c_k^m\} \leq \infty$; es decir, tiene dimensión finita [Ash].

Definición 2 (Espacio de Operaciones (EO)). El EO en el SMFA está formado por el conjunto de combinaciones realizables por el conjunto de las tarea -

células, quedando descrito simbólicamente por $\mathfrak{S}_{EO}$ [Ash]. Cumpliendo que este espacio de finito, es decir, $\# \mathfrak{S}_{EO} < \infty$ ³².

Definición 3 (Espacio de Operaciones con restricciones de Tiempo (EORT)). El EORT, es una subclase dentro del EO en relación al ciclo del lote de producción que debe ser entregado en un tiempo específico, de acuerdo con el sistema con el que interactúa el SMF [Nyq28].

Teorema 1: *El EORT está acotado por el EO.*

Prueba: El EO de acuerdo a la definición 3, está formado por todas las combinaciones posibles del conjunto de operaciones atómicas a realizarse dentro del SMFA (el grupo de tarea-células), ahora si consideramos que cada una de ellas tiene asociado un tiempo de operación; dentro del espacio de operaciones $\mathfrak{S}_{EO}$ habrá un subespacio dentro del conjunto de subespacios de operaciones que sean válidas para el proceso a desarrollarse de acuerdo a los tiempos preestablecidos para el ciclo de producción; este subespacio lo llamaremos $\mathfrak{S}_{EOT}$, y que está contenido en el EO, es decir $\mathfrak{S}_{EOT} \subseteq \mathfrak{S}_{EO}$. ■

Teorema 2: *El SMF requiere cumplir condiciones de sincronía con el proceso que interactúa y así entre cada una de sus tarea-célula.*

Prueba: Consideremos que cada una de las operaciones seleccionadas para el ciclo de un proceso tiene de acuerdo a la definición 2 un componente asociado, así como una operación atómica asociada, lo que significa que el ciclo está dentro del SMFA, así como los tiempos de interacción entre cada una de sus componentes. En esta circunstancia se tiene que los tiempos de interacción se encuentren en sincronía entre componentes consecuentes por pares, y que en caso contrario, se perderá el ciclo del proceso y se tendrá demoras en la entrega del ciclo; perdiendo de esa manera la sincronía con el proceso real del cual recibe materia prima y al cual le entrega un producto.

Sistema descrito como, donde X es conjunto de células de manufactura³³ $\{\chi_i\}$, interconectadas por medio de un sistema de transportación de materia prima $\{\pi_i\} \subseteq \Pi$, $\pi_{i,j} : trans(\chi_i) \rightarrow trans(\chi_j)$, $\chi_i \neq \chi_j$,³⁴ y que operan mediante un sistema de control central³⁵, asignando los recursos del sistema de acuerdo a un criterio preestablecido $\sigma_{m,l}$, tal que $\sigma_{m,l} : X_m \rightarrow \Pi_l$, $X_m \subseteq X$, $\Pi_l \subseteq \Pi$.

Definición 4 (SMFATR). Un SMFATR es un Sistema de Manufactura Flexible Automatizado (C_i^j, Π, σ) donde C_i^j es conjunto de células de manufactura³⁶ $\{C_i\}_j$,

³² El símbolo #, representa a la cardinalidad (ver: [Ash])

³³ Una célula dentro de un SMF está formada por una o varias máquinas – herramientas.

³⁴ El término trans, es la contracción de transporte, y que es el transporte de una célula a otra.

³⁵ El sistema de control central está conformado por el sistema de monitoreo-control y el sistema de planificación de la producción por pares de lotes, ya que solo los sistemas pueden planificarse cuando existen a lo mínimo dos elementos solicitando el mismo recurso.

³⁶ Una célula dentro de un SMF está formada por una o varias máquinas – herramientas.

interconectadas por medio de un sistema de transportación de materia prima $\{\pi_i\} \subseteq \Pi$, $\pi_{i,s} : \text{trans}(\chi_i) \rightarrow \text{trans}(\chi_s)$, $\chi_i \neq \chi_s$,³⁷ y que operan mediante un sistema de control central³⁸, asignando los recursos del sistema de acuerdo a un criterio preestablecido $\sigma_{m,l}$, tal que $\sigma_{m,l} : C_m \rightarrow \Pi_l$, $C_m \subseteq C_i^j$, $\Pi_l \subseteq \Pi$ donde la sincronía entre cada una de sus células C_j^i permite que se cumpla en forma temporal la secuencia establecida en $\mathfrak{T}_{EOT}$ y que se realice la entrega del producto ($P=\{p_j\}$ con $1 < j \leq m$ y $j, m \in \mathbb{Z}_+$), de acuerdo a las restricciones de tiempo impuestas por el proceso en la alimentación [Nyquist28] sin demerito de una calidad preestablecida [Med08], formando un conjunto de recorridos de transportación por requerimiento $V = \{v_{i,j}\}$, un conjunto de plazos máximos por recorrido $D = \{d(v_{i,j})\}$ con $d(v_{i,j}) \in \mathbb{R}^+$ y un conjunto de tiempos de ejecución de las células $D = \{d(v_{i,j})\}$ con $d(v_{i,j}) \in \mathbb{R}^+$ y $d(v_{i,j}) < d(v_{i,j}) \forall i, j$.

En forma ilustrativa lo podemos ver en la Figura 13.

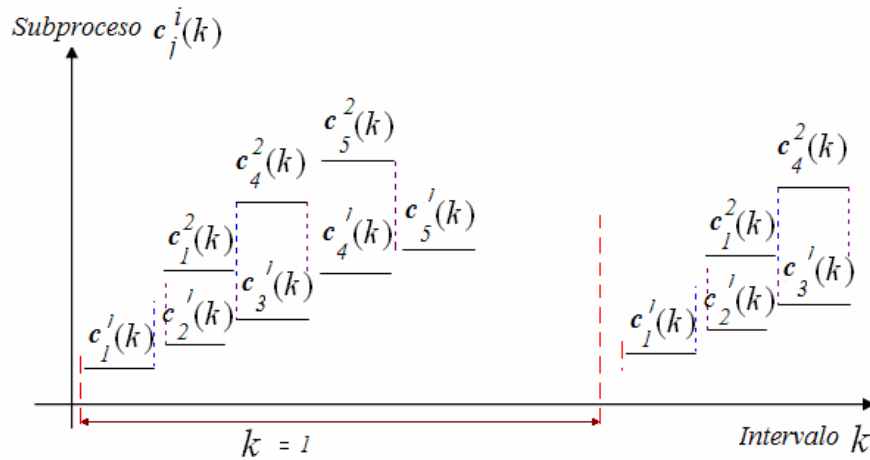


Figura 13. Dos ciclos utilizando recursos compartidos

Teorema 3: Es llamado SMFTR aquel sistema de manufactura en el que por pares de operaciones se cumple que $\bigcap_j \mathfrak{T}_{EOT}^j \neq \emptyset$ donde j es el ciclo del proceso.

Prueba. De acuerdo al concepto de SMFA visto en la sección anterior, se puede ver que en esta clase de sistemas deben interactuar más de dos ciclos o procesos, lo que significa que el conjunto de componentes y así de operaciones tiene que ser utilizada tanto por uno como por otro ciclo en diferentes tiempos, significando que $\bigcap_j \mathfrak{T}_{EOT}^j \neq \emptyset$ se cumple.

³⁷ El término trans, es la contracción de transporte, y que es el transporte de una célula a otra.

³⁸ El sistema de control central está conformado por el sistema de monitoreo-control y el sistema de planificación de la producción por pares de lotes, ya que solo los sistemas pueden planificarse cuando existen a lo mínimo dos elementos solicitando el mismo recurso.

En la siguiente sección se presenta un ejemplo en el que el sistema de SMFA cuenta con dos procesos a realizar, los cuales tienen interacción dentro de las tareas atómicas pero en diferentes tiempos de uso. Lo que permite observar de una manera ilustrativa la sincronía temporal y las operaciones atómicas que componen el Espacio de Operaciones.

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

El SMFA utilizado está estructurado con tres estaciones: Almacén de Materia Prima (Robot SCARA ER-14 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), Maquinados (Centro de Torneado, Centro de Fresado, Robot Antropomorfo IRB 140 ABB, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos) e Inspección/Ensamble (Robot Antropomorfo MK-2 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), todas ellas en comunicación gracias a un sistema de red local CC-Link (Comunicación Central en Línea) y que como elemento de control operacional se encuentra el Controlador Lógico Programable (PLC) el cual es programado con un lenguaje de alto nivel (Visual Basic). Cabe mencionar que cada estación cuenta con medios de información que muestran características de producción (Productos solicitados, tiempo de operación, etc.). Ver figura 14 y 15.

Por tanto y en consideración de las capacidades del SMFA en términos de Características geométricas, dimensionales, físicas y estéticas los productos a fabricar son: 1. Maquinado y Ensamble de un Cronometro y 2. Maquinado y Ensamble de un Porta-Plumas. Ver figura 16.

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

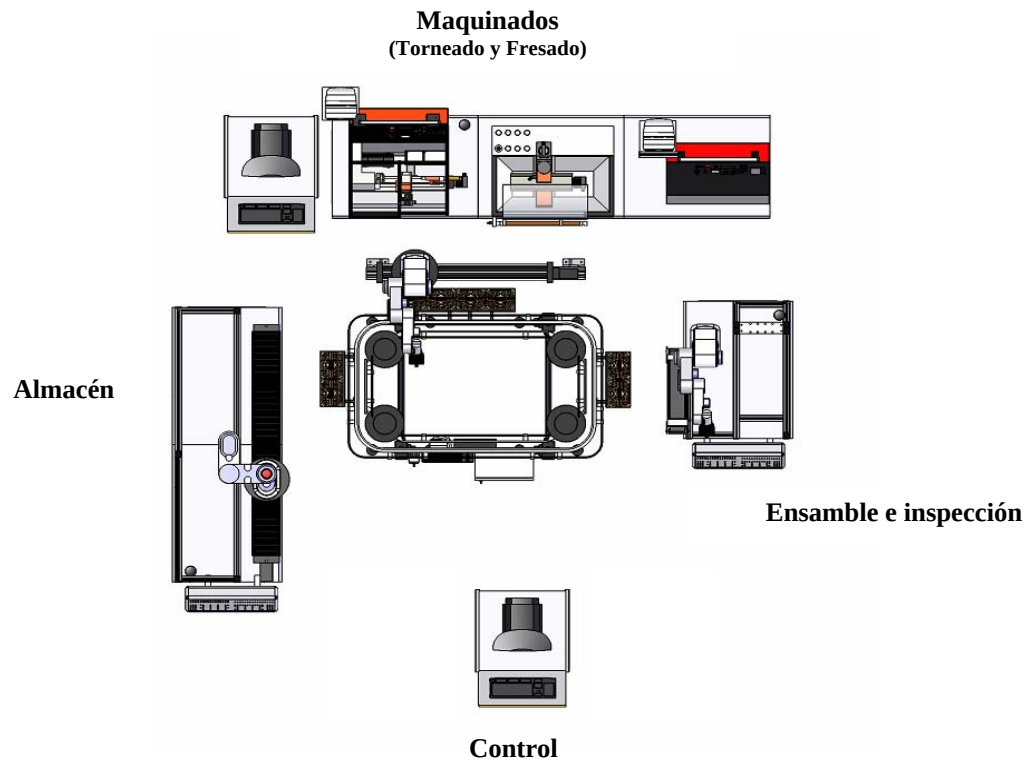


Figura 14. a) Esquema del SMFA de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.



Figura 15. SMFA de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.

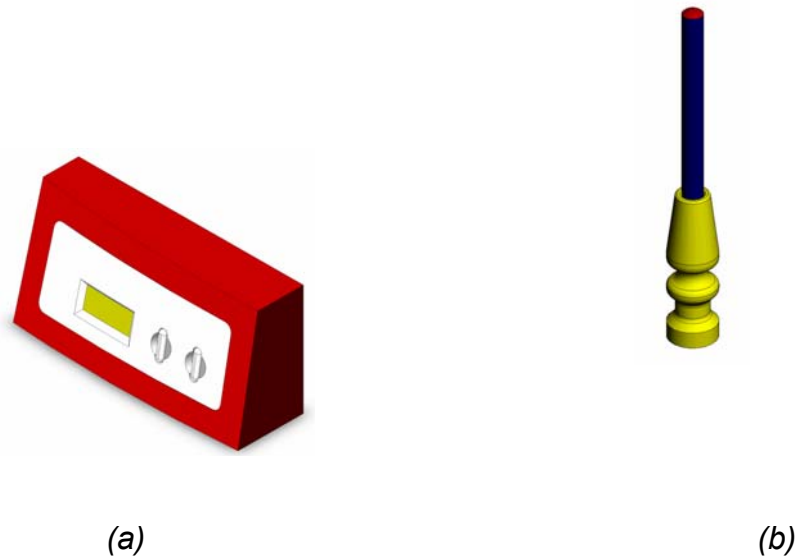


Figura 16. a) Porta-Timer (Cronometro) y b) Porta-Plumas.

Para el cronometro, el cual consta de dos partes: Contenedor y Reloj; para el Porta-Plumas se tiene Base y Pluma. Su desarrollo en el proceso de manufactura es el siguiente:

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

Tabla 1. Desarrollo de manufactura de los dos productos en el SMFA.

Realizando un estudio de tiempos se obtuvo que los tiempos de cada operación sean:

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

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

Es importante considerar que el tiempo de transporte a cada estación es de 5 s, por tanto para el Cronómetro se tiene un tiempo total de 173 s y para el Porta-Plumas es de 133 s.

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

Para las condiciones de un SMFATR que no es un proceso en línea y que toda acción corresponde a un proceso FIFO (FIRST INPUT/FIRST OUTPUT) y además de poder tomar decisiones en base a la disponibilidad de los recursos, permitiendo que en todo momento el equipo este en operación, es decir un flujo combinado serie-paralelo, ejecutando n-duplas de operaciones. Ver figuras 17 y 18.

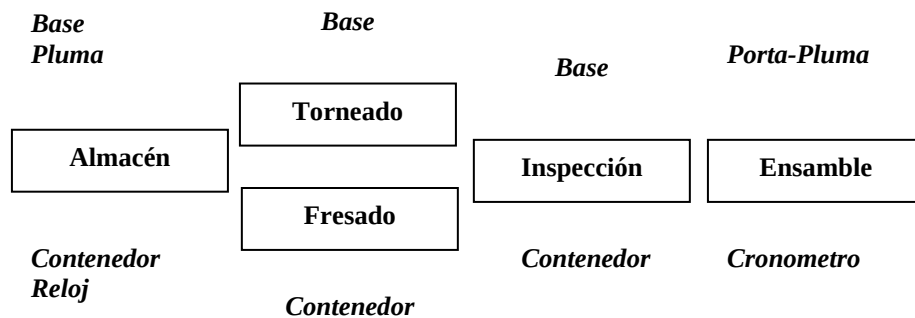
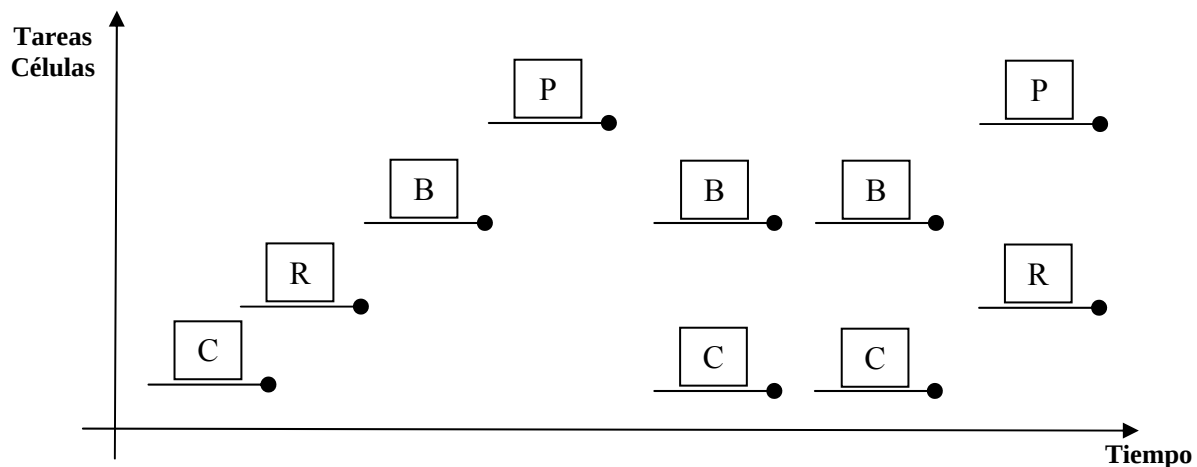


Figura 17. a) Diagrama a bloque de la operación del SMFA ocupando los recursos en forma compartida.



C= Cronometro; R = Reloj, B= Base y P= Pluma.

Figura 18. a) Ciclo de operación del SMFA ocupando los recursos en forma compartida.

Con estas consideraciones, las cuales son las ideales de operación de un SMFA se tiene que el tiempo de entrega será el tiempo de producción del Cronometro, es decir, 4.80 hrs., lo que representa una eficiencia del 43% en el sistema, y considerando que:

Para la definición 1. El SMFA cuenta con sus componentes independientes y comunicados entre ellos a través de una red local CC-Link, en sincronía con el entorno gracias a sus I/O cumpliendo con respuestas aleatorias y temporales impuestas por el ciclo del proceso.

Para la definición 2. Las operaciones realizadas en el SMFA tienen principio y fin, es decir están en un ciclo específico y combinado dentro del SMFA.

Para la definición 3. Complementando la definición anterior, se tiene que por ser un ciclo específico también debe cumplir con un tiempo específico y dentro de la manufactura esto es vital para lograr cumplir con los tiempos estándar de producción.

Finalmente, todas las proposiciones conducen a decir que el SMFATR está en sincronía en sus operaciones gracias a la respuesta de las I/O en forma aleatoria y temporales que se tienen cuando el sistema está en operación.

Con esta fundamentación se dice que el sistema se comporta de la siguiente manera:

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

$$T_{T_o} = T_i + T_e + T_{R_{F1}} + T_{R_{F1}} + \dots + T_{R_{F6}} \leq t_p$$

En donde:

T_{Tp} = Tiempo total de operación.

T_i = Tiempo de inicio.

T_e = Tiempo de ejecución.

T_{Rf1} = Tiempo de recuperación de falla 1.

T_{Rf2} = Tiempo de recuperación de falla 2.

T_{Rf6} = Tiempo de recuperación de falla 6.

t_p : Tiempo del ciclo del proceso

Sin embargo, para las condiciones del SMFATR con operaciones atómicas sincronizadas entre procesos, el tiempo total para la entrega de los productos de forma unitaria será el tiempo mayor de los procesos en forma independiente de los productos considerados, es decir: $T_{T_p} := \max\{T_{T_c}^i\}$, y que contendrá a todos los demás procesos, de manera que globalmente el tiempo de todos los procesos se redujo tan solo al tiempo

del proceso más largo; siempre y cuando se logre la sincronía entre todas sus operaciones atómicas respecto a cada proceso.

Cuando el tiempo máximo es mucho muy grande respecto del tiempo necesario para realizar otro producto, es más conveniente que se realicen de manera independiente; por tanto es importante, que dicha diferencia no sea mayor a un 30%, este valor es definido por la demanda del producto en sí.

Con esta fundamentación y con los conceptos del capítulo 2, se pasa a ejemplificar un Sistema de Control Inteligente de la Manufactura Flexible, esto se hace utilizando todas las herramientas de la CAPP y las aplicaciones de automatización industrial.

4

Sistema de Control Inteligente de la Manufactura Flexible

4.1 El caso de estudio para hacer manufactura flexible Automatizada.

En este apartado se elabora una propuesta de cómo debe ser una planta tecnificada; es decir, una Industria que utiliza herramientas tecnológicas en su actuar, la forma en que se presenta es a través de gráficos, registros de información y todo el conocimiento (know-How) de cómo se hace la manufactura flexible automatizada.

La forma más sencilla de representar los conceptos planteados en los capítulos anteriores es mediante un caso práctico el cual se describe de la siguiente forma:

En el Laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana se deben fabricar ciertos productos utilizando el SMFA con que cuenta, la idea es fabricar 2 ó más productos que sirvan para darle funcionalidad al sistema y además que los productos sirvan como pequeños obsequios para alumnos, amigos e invitados. Por tanto y como en el capítulo 3 se dice que el SMF utilizado esta compuesto con tres estaciones: Almacén de Materia Prima (Robot SCARA ER-14 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), Maquinados (Centro de Torneado, Centro de Fresado, Robot Antropomorfo IRB 140 ABB, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos) e Inspección/Ensamble (Robot Antropomorfo MK-2 ESHED ROBOTEC, sistema sensorial y dispositivos electroneumáticos), todas ellas en comunicación gracias a un sistema de red local CC-Link (Comunicación Central en línea) y que como elemento de control operacional se encuentra el Controlador Lógico Programable (PLC) el cual es programado con un lenguaje de alto nivel en forma alfanumérica y orientada a objetos (Visual Basic). Figura 14 y 15.

Con este sistema se pueden hacer varios artículos que logren obtener 2 ó más partes, por tanto y en consideración de las capacidades del SMFA en términos de sus características geométricas, dimensionales, físicas y estéticas los productos a fabricar son: 1. Maquinado y Ensamble de un Cronometro y 2. Maquinado y Ensamble de un Porta-Plumas. Observe que son los mismos productos con que se pudo hacer el estudio de comportamiento de un SMFATR. Figura 16.

Considerando la parte teórica del capítulo 2 y empleando a fondo la conceptualización de la CAPP se tiene:

4.2 La generalidad del proceso y su representación.

Aunque la información contenida en este apartado es impresa, todo existe en forma digitalizada y está controlada bajo los conceptos de la CAPP. Y para su desarrollo el elemento principal que detona la planeación es la parte más grafica del producto; Dibujo del producto y sus derivados.

4.2.1 Dibujo del producto, explosivo y planos de fabricación.

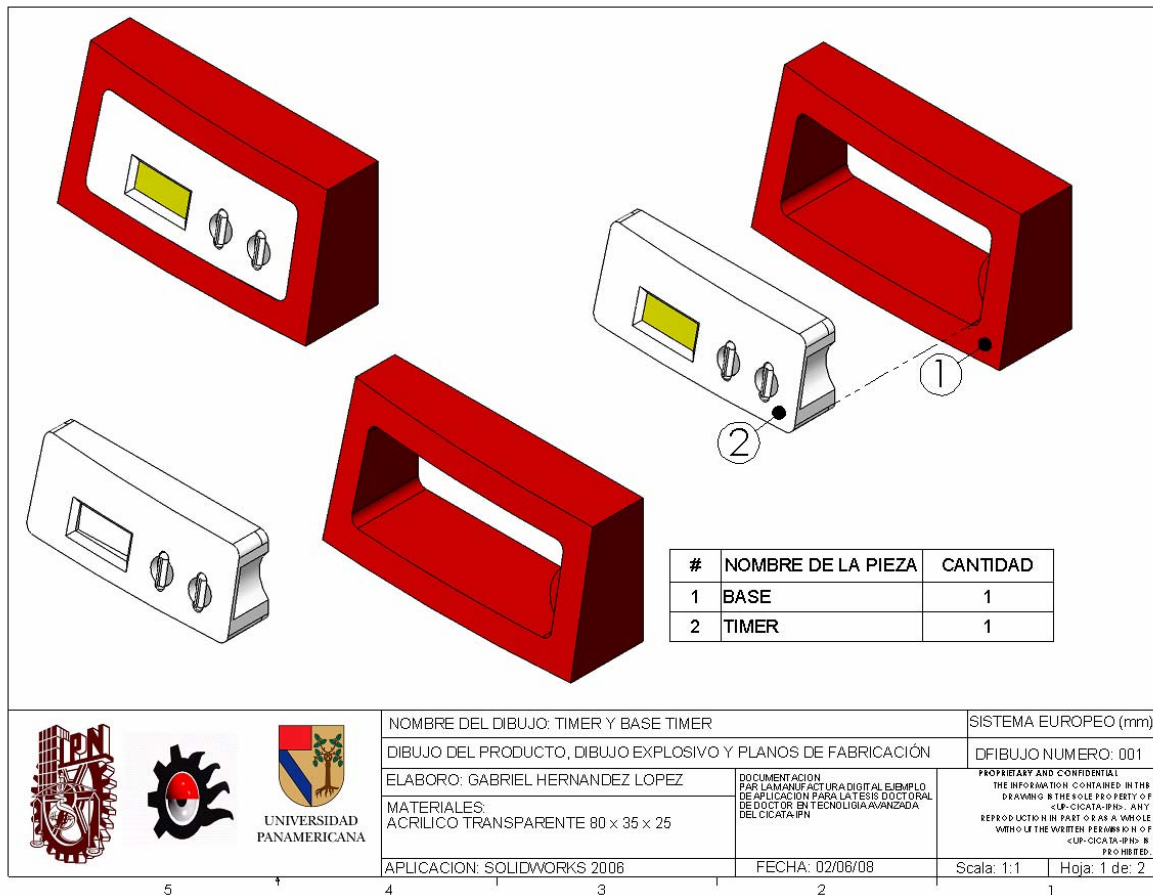


Figura 19: Dibujo del producto, dibujo explosivo y planos de fabricación del Porta-Timer.

Observe como la representación grafica del producto puede ser tan parecida a la realidad; texturas, colores, formas y dimensiones son las bases de la MD.

Estos dibujos son elaborados con aplicaciones de CAD, basándose en modelos en 3 dimensiones y las dimensiones están a Escala 1:1 o a la que desee el usuario, además son dimensiones con características de parametría los cambios que le sucedan al producto están ligados bajo una codificación de parte; es decir los productos pertenecen a una familia de productos gracias a que sus características son similares entre los demás productos.

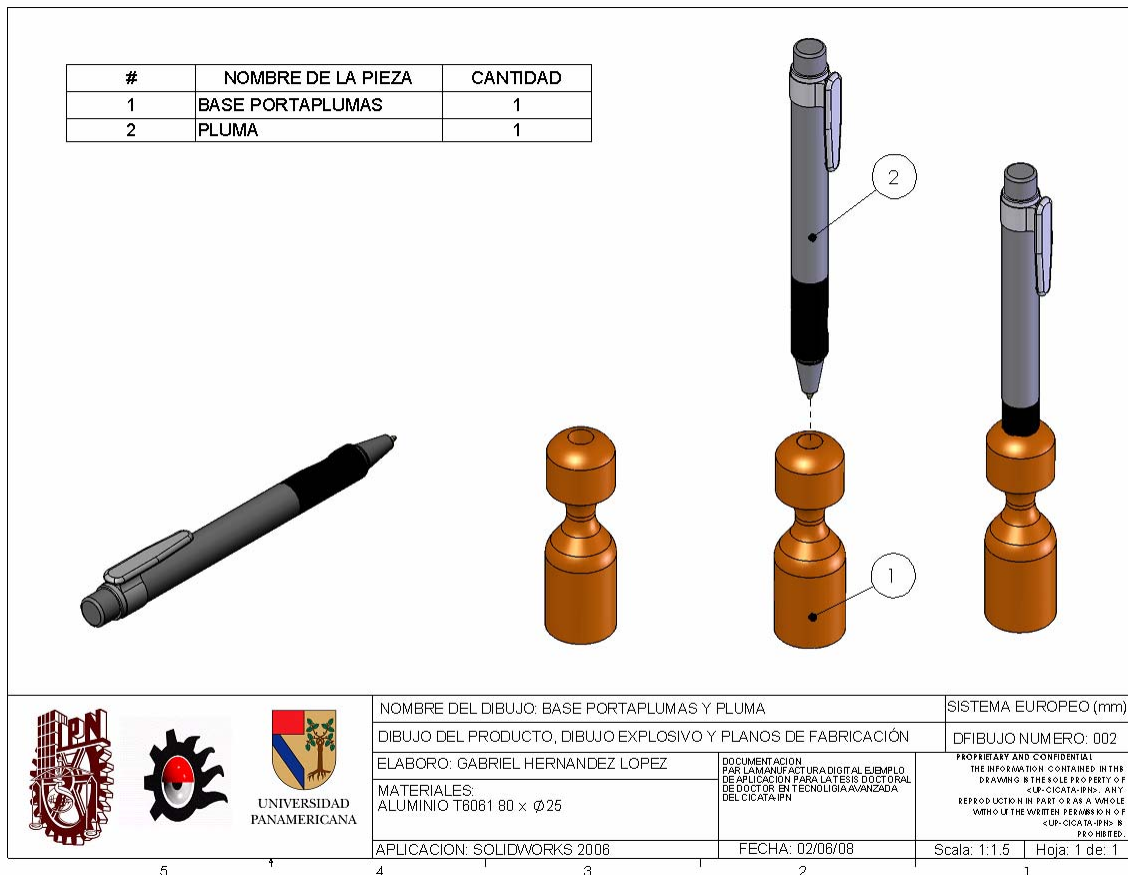


Figura 20: Dibujo del producto, dibujo explosivo y planos de fabricación del Porta-Plumas.

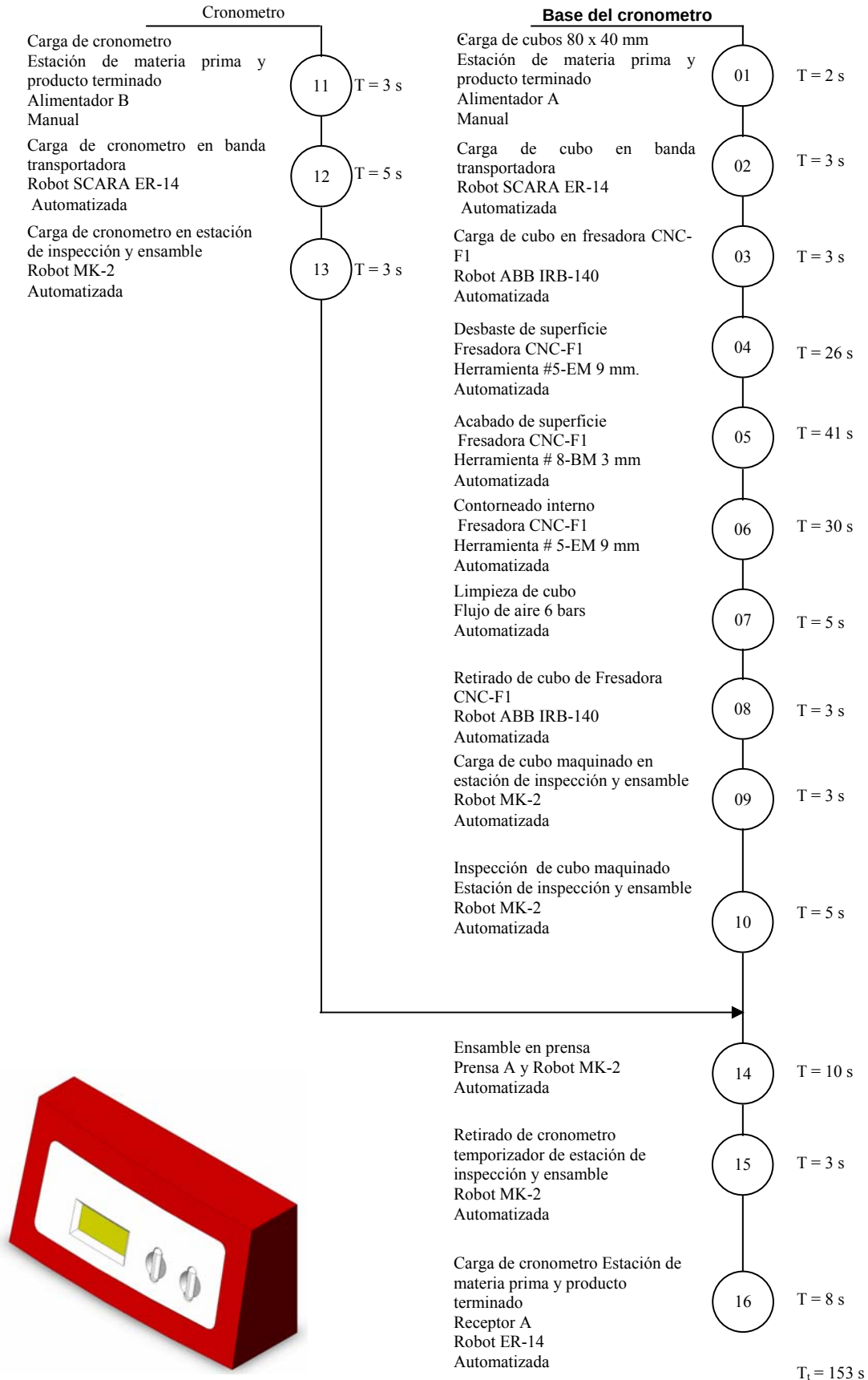
El dibujo del producto y el explosivo son elementos de distinción en el proceso de manufactura, su representación grafica ilustra en forma general lo que se está haciendo en la línea de manufactura y además ayuda para la obtención de diagramas posteriores que son vitales en todo el desarrollo del proceso productivo.

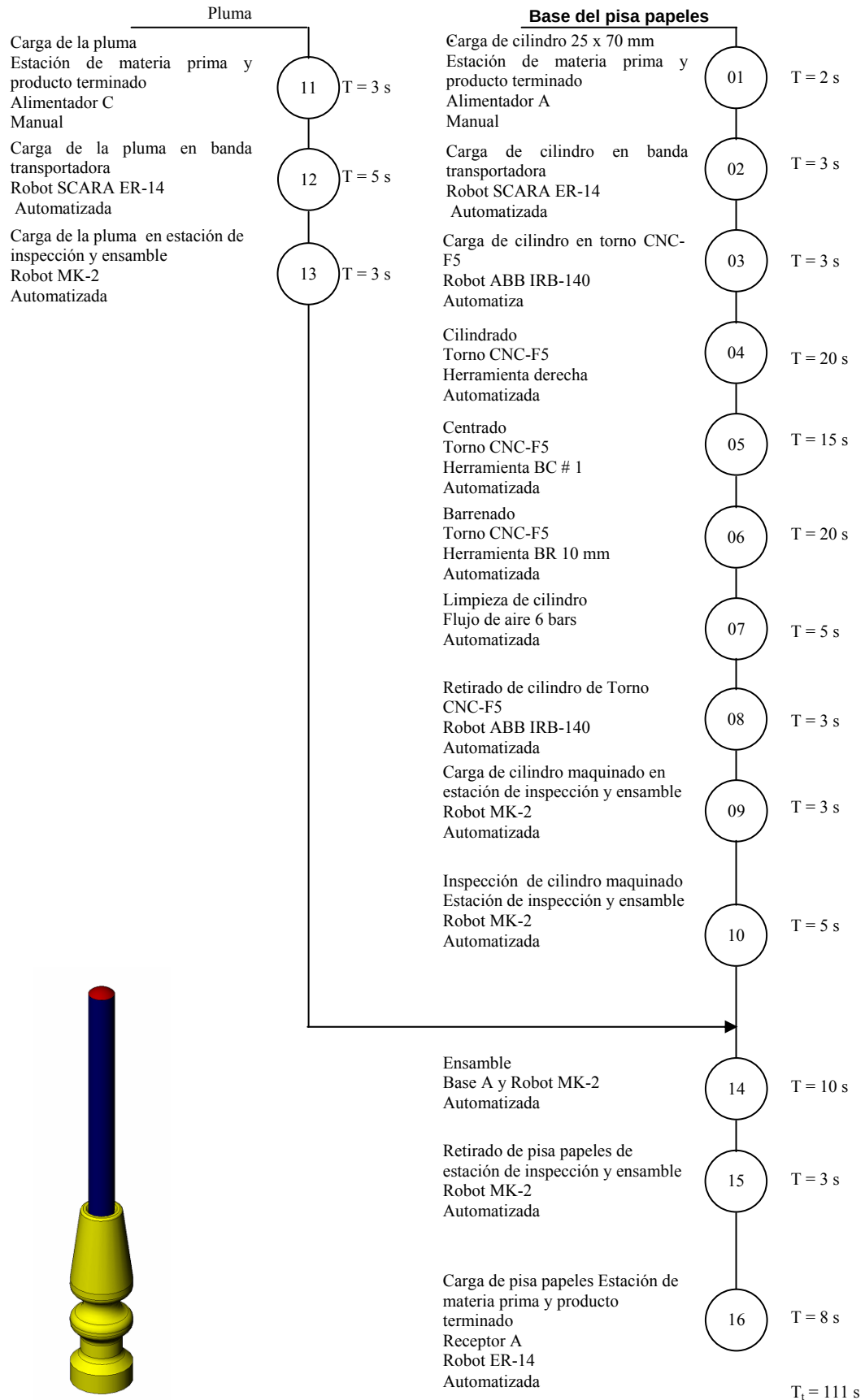
A partir de este momento el sistema de MD empieza a funcionar de forma virtual y con actividades en línea o dependientes, lo que se quiere decir es que estos archivos o elementos gráficos tienen vinculados todos los demás parámetros del proceso, o bien a través de una Sistema Digital de Planeación del Proceso, se puede hacer la MD, siempre y en todo momento vinculando todos las partes del producto con las aplicaciones de ingeniería.

El elemento que continua es el segundo más representativo de lo que se está haciendo en el proceso, su nombre es el diagrama de flujo, que explica más detalles.

Muchas empresas no siempre tienen la capacidad de adquirir un sistema de MD; los costos son muy elevados y en ocasiones es tan robusto que el proceso que es imposible de adaptarlo, sin embargo existen herramientas comerciales o de uso libre, que facilitan estas tareas, pero es necesario recalcar que todo esto es momentáneo y que sirve como aprendizaje para toda la planta. Para que en un futuro emigren a plataformas comerciales que brindan los estándares de regulación

4.2.2 Diagrama de flujo.





Entrando más en la intimidad de ingeniería; donde se puede encontrar infinidad de información en grandes carpetas, se puede encontrar documentación aun más detallada del producto como es la ficha que describe al producto.

4.2.3 Descripción del producto.

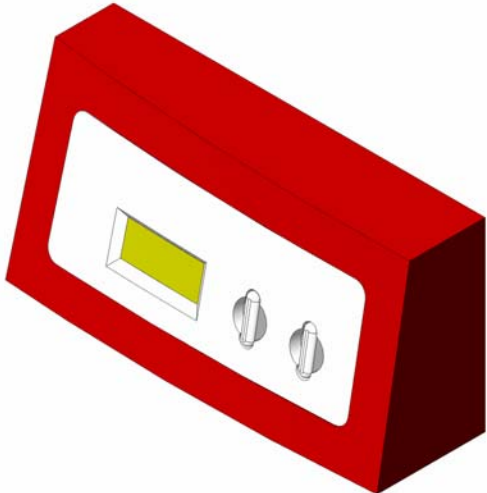
		MANUAL DE LA PLANEACIÓN DE PROCESOS			
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO				DEPARTAMENTO: INGENIERÍA FORMATO: PP-001	
Elaboro: Gabriel Hernández López			Fecha: 02/06/08		
Nombre del producto: Porta-Timer					
Empresa que lo manufactura: UP-CICATA-IPN					
Costo de producción: \$5.00					
Costo de venta: \$ 0					
Tiempo total de producción: 153 s					
Número de trabajadores: 1 (Técnico Especializado)					
Número de piezas: 2					
% que manufactura: 50					
Aplicación: (Souvenir del Laboratorio de Automatización)					
Aplicación: (Souvenir del Laboratorio de Automatización)					
#	Nombre del componente	C			
01	BASE CUADRADA	1			
02	TIMER	1			

Tabla 3: Descripción del producto Porta-Timer.

Este formato ya posee información como es: costo de producción del producto, trabajadores empleados, tiempo de producción, porcentaje de manufactura que la empresa es responsable y más. Es importante decir que se puede agregar más datos, y bueno todo lo que se pueda ingresar a la base de datos de la MD hace que tu sistema adquiera la inteligencia en su control, el sistema está aprendiendo gracias al suministro de la información y al mismo tiempo se actualizan los parámetros de manufactura o si es necesario reestructúralos, se desplegara un mensaje, al o a los responsables de ejecutar los ajustes en estos parámetros, y si estos no se realizan, entonces el sistema deja de producir, pero es casi seguro que esto no pasará; debido a la formación socio-cultural que la empresa ya posee, es decir un actuar en forma automática o mejor dicho autonomía del proceso.

	MANUAL DE LA PLANEACIÓN DE PROCESOS			
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO		DEPARTAMENTO: INGENIERÍA FORMATO: PP-001	
Elaboro: Gabriel Hernández López		Fecha: 02/06/08		
Nombre del producto: Porta-Plumas				
Empresa que lo manufactura: UP-CICATA-IPN				
Costo de producción: \$4.00				
Costo de venta: \$ 0				
Tiempo total de producción: 111 s				
Número de trabajadores: 1 (Técnico Especializado)				
Número de piezas: 2				
% que manufactura: 50				
Aplicación: (Souvenir del Laboratorio de Automatización)				
#	Nombre del componente			
01	BASE CILINDRICA	1		
02	PLUMA	1		

Tabla 4: Descripción del producto Porta-Pluma.

Siguiendo con el actuar del producto y su relación con la operación del sistema, la siguiente información es documentación más detallada de los parámetros de producción y que son indispensables para lograr obtener la calidad del producto; que se conoce como las especificaciones de manufactura.

4.2.4 Especificaciones de manufactura.

En este apartado se puede encontrar información de accesorios y maquinaria, las especificaciones de los materiales, sus requerimientos, estándares de seguridad, especificaciones de recepción de materiales y entrega del producto. Y todo controlado por la MD.

Los accesorios y maquinaria pueden estar visualizados en todo su detalle, llevando a interpretar la secuencia de recorrido de las partes que integran al producto, y más aun; la herramienta de simulación del proceso enfatizará la secuencia real de todo el proceso, la figura siguiente muestra en forma grafica y virtual el SMFA, que puede llamarse la distribución de planta.



Figura 21: Distribución del SMFA visualizado en 3D para la MD.

Ya se cuenta con todos los elementos necesarios para la producción, lo que hace falta son especificaciones, la primera es definir cuáles son las características de la materia prima para ambos productos; las que muestran en la tabla 5 y 6.

Parte	Bloque de acrílico	Barra de aluminio
Dimensiones	80 x 40 x 25 mm	Ø 25 mm long. 70 mm
Material	Acrílico	Aluminio T 6061
Peso	100 gr.	150 gr.
Color	Blanco/transparente	Aluminio

Tabla 5. Características físicas, geométricas y estéticas de la materia prima.

Parte	Reloj	Pluma
Dimensiones	60 x 20 x 25 mm	Variado
Material	Plástico	Plástico
Peso	100 gr.	100 gr.
Color	Blanco	Variado

Tabla 6. Características físicas, geométricas y estéticas de los Sub-Productos.

Estas especificaciones son evaluadas a través de un sistema de recepción de materia prima, que regula que cumplan y que con ello se logren las necesidades de cada

producto, y considere que las operaciones en todo momento son realizadas mediante sistemas de automáticos de medición (Comparadores, medidores digitales, sensores y/o sistemas de visión).

Antes de continuar con más especificaciones de manufactura, es necesario mencionar que los SMFA requieren de una diversidad de medios de transporte y sujeción, tradicionalmente está en función de sistemas de guías en varias configuraciones o bien la utilización de vehículos guiados, pero no es suficiente, se requiere de contenedores con la forma del producto o un medio flexible que permita manipular y sujetar varios productos, para la aplicación en estudio se propone un plato con varias perforaciones y con la utilización de bujes angulados se puede hacer el acomodo de los materiales y productos en varias versiones o configuraciones.

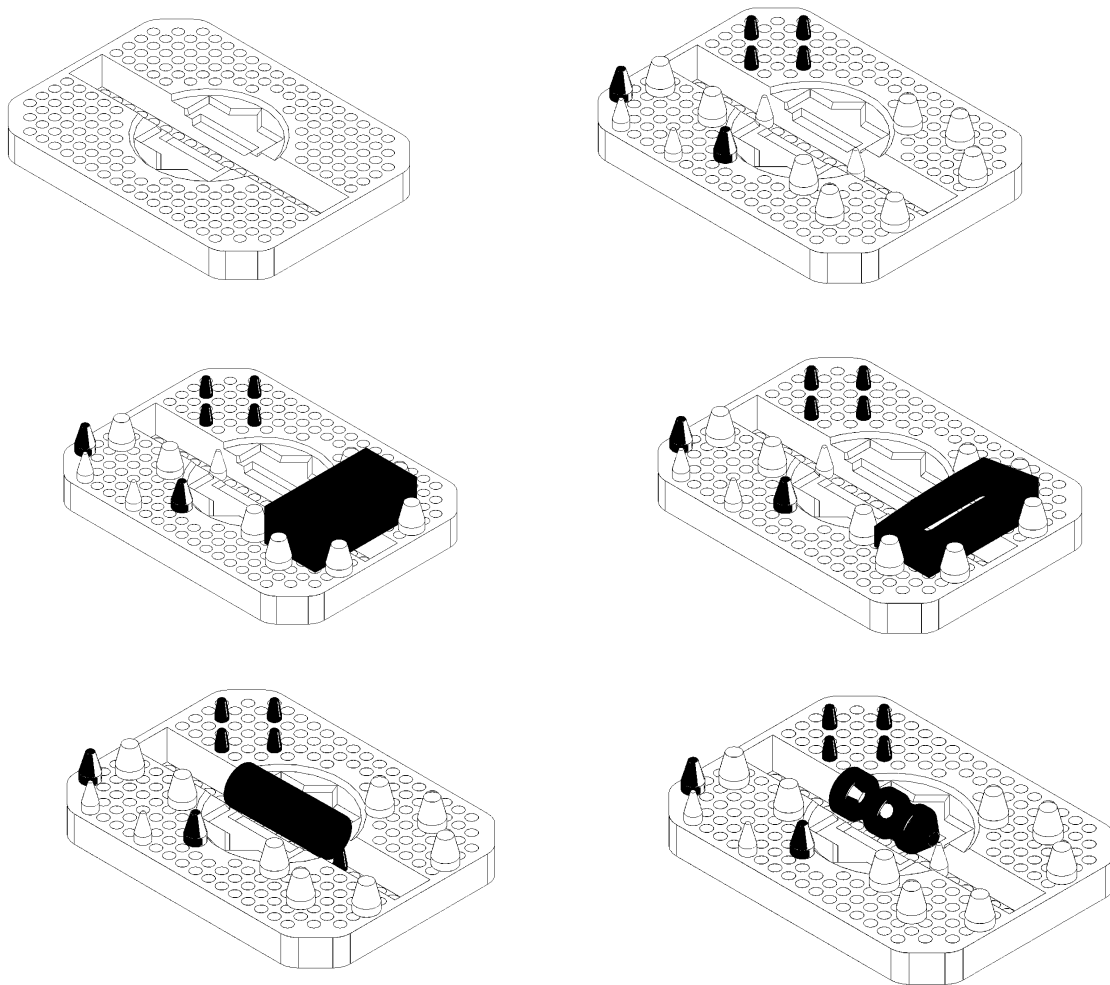


Figura 22: Diversas configuras de platos para el transporte de materiales y producto terminado.

Para la elaboración de estos platos nuevamente indicar que las aplicaciones de CAD/CAM, han logrado facilitar su visualización para posteriormente su posible creación, esto es debido a que se ha creado la conceptualización de cómo transportar los materiales, y la única posibilidad es dibujando en 3D el dispositivo, ya dibujado se puede hacer una simulación de cómo funcionaría y si la aplicación es factible, con esto

se procede a realizar la manufactura y con la utilización de la herramienta CAM es posible encontrar las trayectorias de recorrido del producto, para que una herramienta de desbaste en las zonas requeridas para que al finalizar se obtenga el producto físico, el resultado es la obtención de una secuencia de instrucciones en lenguaje ensamblador que el Centro de Maquinado de Desbaste interpreta para la realización de la manufactura. Ver tabla 7.

```

N020 ; PROGRAM: PLATO CONTENEDOR DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS
N030 ; PROGRAMMER: GABRIEL HERNANDEZ LOPEZ
N040 ; DATE: 02/06/08
N050 ; CONFIDENTIALITY STATEMENT: ESTUDIOS DE POSTGRADO UP-CICATA-IPN
N060 M25 G49
N070 G17 G40
N080 G21
N090 G80
N100 G90
N110 G98
N120 ;HERRAMIENTA 1 (25.4 mm) DIAMETRO ESPESOR (12.7 mm)
N130 G49 H0 M25
N140 G0 X0.0 Y0.0
N150 T01 M6
N160 S343 M3
N170 M8
N180 G4 P3.00
N190 G43 D0 H01
N200 ;Z Tool Change--Verify Clearance
N210 G0 X3.7648 Y7.2941 Z5.
N220 G0 X3.7648 Y7.2941 Z2.6591
N230 G1 Z2.5491 F3
N240 G1 X4.7647 Y6.8358 F7
N250 G1 X3.4193 Y3.9004
N260 G1 X-2.8105
N270 G1 X-5.0913 Y9.6291
N280 G1 X-4.9204 Y12.0159
N290 G1 X-1.6233 Y14.1617
N300 G1 X2.5978
N310 G1 X5.841 Y11.8826
N320 G1 X6.1743 Y9.9109
N330 G1 X4.7647 Y6.8358
N340 G1 X3.7648 Y7.2941
N350 G1 Z2.6591 F3
N360 G90
N370 G49 H0 M25
N380 G40
N390 M5
N400 M9
N410 G80
N420 M30

```

Tabla 7: Programa de CNC obtenido de una aplicación CAM Fuente: Diseño propio.

Otros aspectos como velocidad de corte, revoluciones por minuto, herramientas y tiempo de maquinado se indican en la tabla siguiente:

Variable	Valor	Observación
Velocidad de avance	500 mm/m	
r. p. m.	15,000	
Herramienta	Abrasivo $\varnothing 1"$ (25.4 mm) e = 1/2" (12.7 mm)	Con zanco de 3/4" (19.1 mm) para un cambio rápido de herramienta.
Vida útil de la herramienta	1000 pz	
Tiempo de maquinado	$T_1 = 1\text{ s}$; $T_2 = 1\text{ s}$; $T_3 = 3\text{ s}$	Se elige el tiempo con mayor ritmo de producción

Tabla 8. Velocidad de avance, revoluciones por minuto, herramientas, vida útil y tiempo de maquinado. Fuente: Diseño propio.

Toda esta información puede estar contenida en un programa de ejecución de instrucciones o en una base de datos, donde se pueda encontrar especificaciones de materiales, tipos de materiales, herramientas y más, haciendo que la obtención de parámetros sea a través de 2 ó 3 requisitos.

Para la ejecución del SMFA, se requiere también de la programación de las operaciones que los robots realizarán y al mismo tiempo la integración en una secuencia lógica de todos los elementos del sistema; para la parte robótica se tiene que la programación se puede realizar a pie de máquina; pero bajo el concepto MD la idea cambia ya que existe una programación fuera de línea (off-line programming) que permite ver a detalle la secuencia de recorrido del robot, detectando en todo momento posibles colisiones, trayectorias óptimas, detección de tiempo de operación y algo muy importante la actividad de producción no sea interrumpida, ya que el especialista en robótica elabora la programación en una PC, donde se encuentre instalado la licencia del software, haciendo más productivo a todo el proceso industrial. Los resultados de esta actividad se define en instrucciones ensambladoras que las maquinas ejecutan bajo la lógica del proceso del producto.

También es importante mencionar que la programación está ligada con parámetros de necesidades de todo el sistema, es decir, que producir y en qué momento, el SMFA bajo su lógica de programación comienza a tomar decisiones de cómo producir, cuantos y cuando, esta parte es muy importante, debió a las consideraciones que se deben hacer, en primer lugar esta los conceptos de TR que son los que hacen que exista un control del entorno para producir en tiempo y cantidad, para que en segundo término se añadan las herramientas de Administración de Planeación de Procesos que son las encargadas de hacer la optimización de los inventarios, las solicitudes de los materiales, establecer el punto de equilibrio con la oferta y la demanda; entonces todo comienza a generar un fuente de información de carácter digital y que para su análisis funciona en forma visual, su manejo hace un sistema robusto pero que gracias a la MD hace un sistema de fácil manejo pero con todo el kwon-How necesario para la producción.

Finalmente todo esto debe estar disponible dentro y fuera de la empresa en la misma forma, es decir digitalizada y disponible para los miembros autorizados del proceso, esto se hace a través de esquinas de información con pantallas localizadas por toda la planta y también en las oficinas de los miembros del equipo, es sólo una ampliación de la red de todo el sistema, esta actividad se conoce como “Dirección a ojo”, puedes ver todo lo que sucede en el proceso de manufactura. Ver figura 23.



Figura 23. Panel de control e información del SMFA. Fuente: Laboratorio de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana.

La forma de mostrar la información también debe ser muy gráfica y de fácil manejo, la opción que el SMFA en estudio es mediante una hoja de producción que contiene todos los parámetros de manufactura y con vínculos a otros archivos puedes navegar libremente en el mundo de la MD. Ver figura 24.

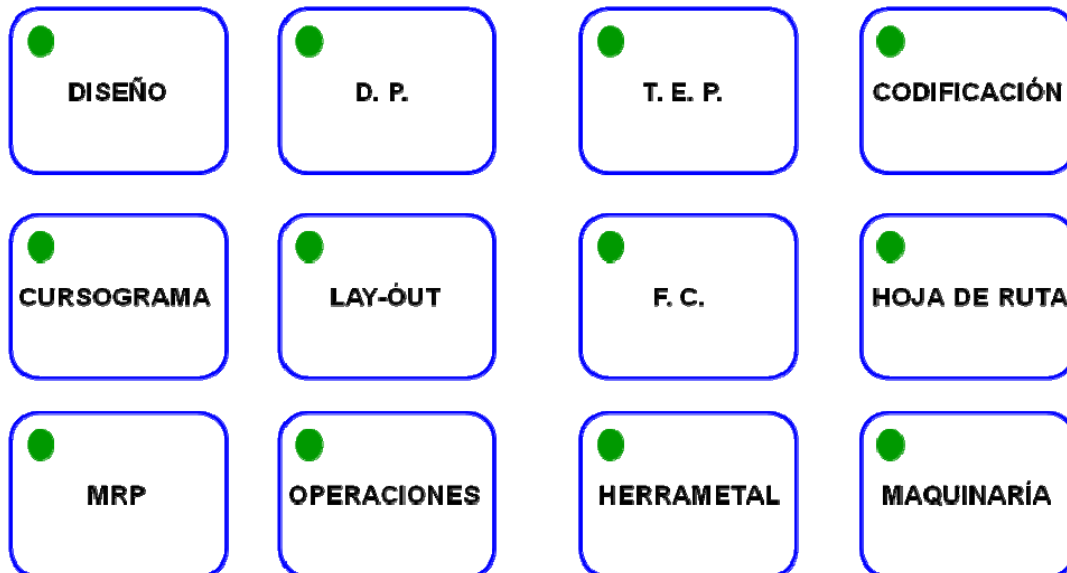


Fig. 24. Hoja de producción de un modelo CAPP aplicado en un SMFA

4.2.5 Resultados obtenidos.

Observe que los resultados van en paralelo con el desarrollo de los capítulos, es decir, lo que se ha obtenido después de 6 años de trabajo es lograr que el SMFA de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana este integrado en su totalidad y que permita realizar aplicaciones de desarrollo tecnológico, como lo ha sido el diseño de productos a fabricar, el diseño de sistemas de sujeción y transporte de materiales, la actualización de los lenguajes de programación de los sistemas a versiones más amigables para el usuario y de mayor velocidad de operación para el sistema, la integración de nueva tecnología como fue la introducción el un robot industrial IRB140 ABB y el sistema de comunicación/programación bajo un PLC que cuenta con la red local en sus sistema y ambiente lógico a través de bloques, y que tiene una programación orientada a objetos, finalmente toda la documentación en forma digital que sea desarrollado para el soporte tecnológico de lo que significa emplear un SMFA. Como actividades posteriores de este desarrollo, se encuentran las tareas de incrementar el grado sensorial de todo el sistema a través de la utilización de un sistema de visión para operaciones de identificación de productos y verificación dimensional, también hay la posibilidad de introducir nuevos robots, que serán los sustitutos de los robots MK-2 y ER-14, una opción muy oportuna para desarrollar en el SMFA es emplear un sistema de monitoreo a distancia que sirva para actividades de mantenimiento y puesta en marcha, ya hay algunos estudios realizados sobre estas cuestiones y sería oportuno dar continuidad para incrementar el nivel de tecnología de los SMFA, que posiblemente el paso siguiente de estos sea el CIM.



Figura 25. Laboratorio de Manufactura Flexible de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana. Fuente: Diseño propio.

0.5 Conclusiones

Una de las formas más sencillas para concluir como se beneficia la industria Mexicana con estos fundamentos es a través de una tabla que contiene ventajas y desventajas de un SMFA. Esta tabla comprende los conceptos establecidos en el capítulo 1 y el ejemplo de aplicación del sistema de manufactura flexible automatizado que se aborda en el capítulo 3.

SMF	
Ventajas	Desventajas
Empleo para la población (que sin valorar su integridad física; realizan los esfuerzos extremos que requiere producción)	Proceso artesanal carente de avance tecnológico.
	El ritmo de producción lo marcan las personas.
	Producto sin calidad ya que hace falta la repetibilidad en el proceso.
	Existe el ajuste al tanteo, al ojo de buen cubero, a la experiencia, a lo cualitativo.
	Alto riesgo de accidentes y probabilidad alta de enfermedades.
SMFA	
Ventajas	Desventajas
Velocidad constante de producción	Desempleo: por cada diez empleados sólo se necesitará un empleado.
Eliminación de desperdicios.	
Eliminación de accidentes.	
Oportunidad de aplicar herramientas estadísticas para el monitoreo del proceso. (Graficas de control, Diseño de experimentos, mantenimiento productivo total, etc.)	
Calidad del producto ya que empleando un control en el proceso, se garantiza que la automatización es homogénea.	
Estandarización en los tiempos de vaciado. Ya que pasar de tiempo estándar a tiempo máquina.	
Evolución en tecnología e imagen de la empresa y al ambiente de trabajo.	

Tabla 9. Ventajas y desventajas de un SMFA; Fuente: Diseño propio

La comparación entre las ventajas y desventajas indicadas en la tabla, muestra una distancia inmensa de separación entre cada una; operaciones manuales de alto riesgo al trabajador y baja competitividad, operaciones automatizadas, desarrollo de

tecnología y alta competencia. Con esto; sólo queda decir, ¿hoguera o infierno? La evolución de una idea depende de lo que se haga con ella. Sólo disponiendo de medios de comunicación correctos, las ideas se transformarán en pensamientos geniales, capaces de provocar decisiones fundamentales para cambiar las cosas.³⁹

Las conclusiones con respecto a describir un SMFTR que corresponde a la parte de control y operación del sistema, se tiene que en el capítulo 3 se abordó una serie de formulaciones que establecen el comportamiento del control del sistema, y que con esto se hace la indicación que cualquier sistema automatizado requiere establecer un ambiente controlado que permita percibir el entorno de cada operación, es decir poder recibir y enviar señales I/O para el funcionamiento correcto de las tareas de cada célula; lo que significa que hay interacción con el mundo real, pero además todo esto obliga a tener los tiempos controlados y acotados según un intervalo establecido por los estándares de producción del proceso.

Esta parte de TR es vital para los SMFA debido a que indica que para que un SMFA funcione en especificaciones correctas de producción debe estar rodeado de un ambiente sensorial, es decir un sistema de señales de entrada (I) o (INPUT), es decir hacer que el sistema sea inteligente gracias a la información que percibe del entorno, para después compararla con la información contenida en el sistema de la MD.

Para cubrir el caso de estudio, donde se utiliza a la MD como el elemento principal de control, se muestran diversas herramientas de ingeniería que hacen la descripción de los productos; convirtiéndose en información digitalizada permitiendo la agrupación de la manufactura según características físicas, geométricas y estéticas, haciendo que los cambios en el diseño sean mínimos, o si bien si los cambios son bruscos poder hacer que el proceso de re-diseño sea menos robusto, permitiendo rápida respuesta a la demanda y lograr tener flexibilidad en los procesos de CAD/CAM.

Finalmente, los resultados sólo es fundamentación teórica y un ejemplo de un SMFA de aplicación académica, pero son valuados como referencia para el Industrial Mexicano se envuelva en un mundo de cambios basados en aplicación tecnológica, teniendo como resultado mejorar las condiciones de seguridad, mantener una calidad del producto establecida por los clientes y una producción aceptable para la demanda del mercado.

Es importante indicar que la información aquí contenida será próximamente preparada para la publicación del Libro Fundamentos de Manufactura Flexible Automatizada, el cual contendrá las aportaciones de todo el desarrollo de los estudios de Doctorado y que servirá como apoyo en la formación de estudiantes de licenciaturas como Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecatrónica y finalmente la aportación más importante del libro será el enfoque que esta investigación tiene la cual consiste en mejorar las prácticas de la Industria Mexicana.

³⁹ Pneumatic World, FESTO, Tips for executives in automation, N. 102, Año 2002, Dipl.-Ing. Paul Kho.

0.6 Bibliografía

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

[15] David M Upton. A FLEXIBLE STRUCTURE FOR COMPUTER-CONTROLLED MANUFACTURING SYSTEMS, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, MA 02163 E-mail: upton@stig.harvard.edu, Copyright (c) 1994 Harvard Business School A version of this paper appeared in Manufacturing Review Volume 5 (1), 1992 pp. 58-74.

[16] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. (1994): Product Design for Manufacture and Assembly. (7^a), New York (United States of America), Dekker

[17] Boothroyd, G. (1991): Assembly Automation and Product Design. (3^a.), United States of America, Dekker.

[18] Narayanan, S., Gokul, K., Janardhan, K., Kuppan, P. (2006): CAD/CAM Robotics and Factories of the Future, India, Narosa.

[19] **Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms**

Journal: [International Journal of Flexible Manufacturing Systems](#)

Publisher: Springer Netherlands

ISSN: 0920-6299 (Print) 1572-9370 (Online)

Issue: [Volume 17, Number 4 / October, 2005](#)

DOI: 10.1007/s10696-006-9028-7

Pages: 261-276

Springer Link Date: Wednesday, October 11, 2006

[20] **Mobile reconfigurable manufacturing unit for drilling and milling operations**

Journal: [International Journal of Flexible Manufacturing Systems](#)

Publisher: Springer Netherlands

ISSN: 0920-6299 (Print) 1572-9370 (Online)

Issue: [Volume 17, Number 4 / October, 2005](#)

DOI: 10.1007/s10696-006-9031-z

Pages: 315-322

Springer Link Date: Wednesday, October 11, 2006

[21] Automation, The leading supplier of factory automation, FASTEMS, www.fastems.com

ANEXO

Artículo publicado en The World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) y presentado en 10th WSEAS International Conference on AUTOMATIC CONTROL, MODELLING and SIMULATION (ACMOS) Turquía del 27 al 30 de mayo 2008. Que representa el capítulo 3 de la investigación. NEW APECTS OF AUTOMATIC CONTROL, MODELLING AND SIMULATION. PROCEEDINGS OF THE 10th WSEAS International Conference on AUTOMATIC CONTROL, MODELLING and SIMULATION (ACMOS). ISBN: 978-960-6766-63-3; ISSN: 1790-5117. ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING SERIES A SERIES OF REFERENCE BOOKS AND TEXTBOOKS.

Real Time Flexible Manufacturing System

Analytical description

Hernández Gabriel, Medel José de Jesús.

Abstract—generally, the manufacturing systems require scheduling sequence operations, considering the sequence operations respect to each process selected previously. The main problem in these systems is principally observed among multiple operation sequence; such that the production process has multiple undesirable breakpoints, decreasing either, the production requirements or quality results.

In this sense, we propose a novel analysis about the properties and entities respect to digital flexible manufacturing systems without forget the time conditions required by this. In formal sense, we developed a set of theoretical concepts needed into scheduling task operations in base to real time descriptions. Allowing integrate both into real time manufacturing systems description.

The results considering a set of new concepts, such as: task-cell, time restrictions and jobs in the others.

Concluding this paper with a set of references required to develop this topic

Keywords—Flexible Manufacture, Real Time, Tasks, Restrictions.

I. INTRODUCTION

THIS section stars considering basic concepts respect to manufacturing systems, with different points of view. Allowing to build the unified concept in natural language, with time properties and qualify manufacture production; but we express it in analytical sense with all its properties. In this case, require the real time systems concept, expressed in formal sense; and to build the formal analytical description concept to manufacture system. Once we have described both spaces in the same language, we will start joining together in its elements that satisfies the quantitative parts needed into the dynamical schedule algorithms.

The goal of this paper is to introduce the formal description about the Real Time Manufacture Systems (RTMS), considering the performance and time restrictions in one definition. Such that, we hope that the new criterion theory covers the basic quantitative schedule inputs into manufacture system.

A Flexible Manufacture System (FMS) is dynamically interacting with its environment which affects its general operation. Due to [1]

- The number of products to make,
- Useful life of the product and,
- The product variety to manufacture.

This brings like consequence the preparation of the subjection devices, the programming of different automatic elements (robots, actuators, machining centers, inspection systems, etc), the transfer of materials and to the registry of information. [2]

The FMS is in synchrony with all the automatic elements that interact in it, requiring in the scopes of information,

programming and operation of the properties of the Systems in Real Time (SRT) [2] where the SRT is that system that interact actively with surroundings with well-known dynamics in relation to their temporary entrances, exits and restrictions, to give a correct operation according to the concepts of stability, controllability and reach.¹

This class of systems has a great industrial and educative use, [3] but its development as a Flexible Manufacture System in Real Time (FMSRT) has not had until today a description like so, as we can see in [4], [5] and [6]. For example, the programming of interconnection between the different cells has been developed without describing it like of real time [7], although its operation fulfills the conditions of this class of systems [8].

In this article they tie to FMS and SRT like a single concept, expressing itself as FMSRT.

This work is conformed in the first place by the description and operation of FMS continuous with the description of the real time systems SRT and occurs the formal description of which it is FMSRT by means of a series of concepts that characterize it, also a specific example that consists of the manufacture of two products with restrictions of time of delivery and different conditions of production among them, that they allow to illustrate that a FMS is a SRT with specific properties. Finally the corresponding conclusions and references appear.

II. FLEXIBLE MANUFACTURE SYSTEM

A FMS is a production system of goods constituted by cells of production.² In agreement with [2], a FMS is a fix of machines interconnected by means of a transport system; the load is transported to the work machines on vehicles or units of transference. The work machine registers accurately, and in automatic form the entrance-exit signals execute the assigned operations. A central computer controls the system of transportation, and the work machines, assigning operations and coordinating the transporting synchrony between all of the bands. The key of the FMS is formed by the planning of the job stream and the load through a central computer. So that the computer establishes the functions of:

- Planning of the labors in machines Tools.
- The knowledge base of the elements to work (having on it a group of detailed instructions of how producing a part and in which machine).
- Sends instructions to the transportation system obeying the synchrony between the processes of each machine of manufacture or transportation.

¹ In [med08], the STR is a digital system that interacts actively with surroundings with well-known dynamics in relation to its temporary inputs, outputs and time restrictions, giving a correct operation according to the stability, controllability, reliability concepts in agreement to [Cai86], [Hay91], [Nyk28], [Kot33] and [But91].

² A production cell is the production unit with high autonomy operation, integrated by machines to manufacture a product.

A FMS with respect to [2], is expressed as a group of interlaced manufacture cells by means of an automatic system of manipulation of materials, operated by a central computer. In general terms a FMS is made up of [2], [3] and [7].

Cell of production: Well-known also as cell of manufacture, is a system of specific intention, made up of one or several Machine-Tools of Computerized Numerical Control (MTCNC); that they develop a process of machining on the precise training base.

The cell sees like a shared resource when it is a single machine can be used by several sub processes [9] when the cell is composed by several machines can be used in parallel or concurrent form according to the possibilities whereupon it counts its system of central control.

Robot: It is a programmable, multifunctional computerized arm with several degrees of freedom, able to distribute special materials, pieces, tools or devices according to the group of considered trajectories to fulfill the requirements of distribution of service load and tools, following with requirements of the FMS, placing of a synchronous way the materials to be manufactured in the place of work according to the group of cycles of the process to develop [10].³

Input devices: it is a group of sensors that warn the system of central control of which the matter or I ooze required is arriving at the cell from production [10], according to a specific criterion.

Output devices: it is an actuator or group of actuators that can be pneumatic, electro pneumatic, hydraulic and electro hydraulic, with the objective to hold, to locate or to make another process with the raw material within its process of transformation in the cell of production.

System of central control: It is the computerized system ordered to coordinate all the operations of the SFM, when considering so much the entrances as the exits to each one of the cells of production, the processes to develop by the FMS, as well as the conditions to fulfill by the communication network respect to the product or specific products.

Communication network: at the moment it is well-known visually by rails of mechanical communication between all the cells of the FMS and the supply base of the raw material. So that the FMS gives the possible most precise answer is necessary to count on the Computer Attended Design (CAD); that it is used for the design of objects by computer with interactive capacities and graphics, by means of which the phases of design can become of a three-dimensional⁴ way visible [9] and [11], having the interaction of adjustment out of line with the tools to be used to obtain the product drawn in CAD respect to a basic volume, a specific material; allowing to select to the best toolboxes to fulfill the engineering specifications required by the designer and the capacity of precision possible to obtain the final item.⁵

The command group to be made for a product in specify according to the drawing shaped in CAD requires a

separation in each one of the basic elements that compose it, the expert system associate to the CAD, allows to suggest according to the group of tools available, the tool required for each one of the basic elements.⁶ There part through another expert system, the generation of sequences of operations to manufacture each one of the basic elements, according to a criterion established by a group of conditioners, or is of quality or temporary.

Once described how it would be the production process, as well as the sequence of operation between the cells and inside them; it is come through the system of central control of the FMS to program the cells and the robot to cover the necessary operations for the product shaped in Computer Aided Manufacturing (CAM). The operations times of synchrony and quality between all the elements adjust that will compose to the end item

The computerized coordination of the elements of the FMS qualifies to the components to manage to produce to low costs, as long as the amounts are respected to make in each lot⁴ of a finite way. The central idea of the FMS is to qualify the boot of each machining of each component [12], planning all the operations, sequences and conditions to fulfill by the group of lots to be developed within a period of time.

Accordance with the previous, a FMS is described like:

Definition 1. Flexible Manufacturing System (FMS). *It is a Digital Manufacture System (DMS) operate in digital sense in charge to a set of manufacture cells interconnected by the net communication carries, input and output devices, synchronized and operated by the unit control system respect to many production processes, placing the raw materials into specific manufacture cell through the manipulation robot without losing the time process operation into the set of productions shares, all of them into interval time defined respect to the highest sequence process considered into manufacture production.*

In general FMS count on joint problems, flash, dimensional deformations, among others; which are called faults of information, programming and operation [2], [3], [14] and [15]. The fault in a FMS is one or several breach of the specifications required by the product and therefore it is important to consider that the present planners within the system of central control do not have predictive or adaptive properties before such circumstances [8]⁷.

As the FMS between their cells consider the synchrony and the times of delivery limited by lot; it is necessary to describe the systems in real time in the context of the FMS.

III. REAL TIME SYSTEMS (RTS).

In [Gue05] and [Med08], is indicated that the RTS can be described in different forms, such as:

- System where the information emission does not count on tolerances of time (the time interval obtained by the difference between the times of entrance and exit this fugitive) in agreement some criterion previously established for the system, looking for that the information delivery is acceptable by the system with which interacts [16].

³ The International Federation of Robotics. World Robotics 2001, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. United Nations.

⁴ Gerard K. Boon, Alfonso Mercado. Automatización flexible en la industria; Difusión y producción de máquinas herramientas de control numérico en América Latina. LIMUSA NORIEGA. México 1990.

⁵ Lot inside of FMS refers to the product quantity with identical properties and qualities to be made in a period of time.

⁶ A cell inside of a FMS is formed by one or more tool - machines.

⁷ Pedro Guevara. José de Jesus Medel. Introducción a los Sistemas en Tiempo Real. Instituto Politécnico Nacional. México, 2003. p. p. 41.

- System that responds to external stimuli in a period of finite time [17].
- System that it requires to react to stimuli of the environment with the adaptable intervals of answer to the means where finds operating [18].
- System of control in loopback that consider the times of the entrances, information processing and the emission of answers, all of them fugitives according to the requirements of the system whereupon interacts [19].
- Computer of monitoring and control that receives processes and sends information according to the requirements of time imposed by the system whereupon interacts [20].
- Digital system formed by the reception, emission and delivery of information towards the system whereupon interacts according to the criteria of time established by [Nyquist], and [Kotelnikov], (see: [med08]).

The RTS [Med08], are made up of a system of monitoring - control and a system to control; both with its respective connections of entrance - exit, where: the ordered triad $\{\delta_k^{in}, \delta_k^{out}, \tau_k\} \subseteq \Omega$, where δ_k^{in} y δ_k^{out} represents the input and exit information, respectively, as well as τ_k , the established restrictions of time for the interval in which answer with the part of the digital system is due to give a received stimulus, in τ_k : is the time interval in which all the tasks by the digital system are made to obtain a interaction adapted between both systems [Med08]. The tasks in real

time (TRT)⁸ are the feasible organizations of work $J_{i,k}$, within the digital system that operate in real time and that in minimal form are characterized by a time of arrival and a temporary restriction for the delivery of answers with temporary restrictions.

In addition each one is formed by a set of interlaced instances $\{j_{l,k}\}_{l=\overline{1,i}}$ with an aim in common; it is to say $J_{i,k}$ is formed by the specific set of instances, necessary to make a task within a time interval indexed with k , symbolically it is expressed like $J_{i,k} = esp\{j_{l,k} : l = \overline{1,i}, i, k \in Z_+\}$,

where $j_{l,k}$ is the atomic unit of work of a task $J_{i,k}$ so that is defined:

$$j_{l,k} := (\tau(l_{l,k}), \tau(c_{l,k}), \tau(f_{l,k}), D_{Max,l,k}), \quad l, k \in Z_+$$

(see Fig. 1): Time of arrival $\tau(l_{l,k})$ is the time in which the instance considers ready to be executed, warning the processor its situation run time $\tau(l_{l,k})$, is the time in which the instance with index of interval time $\tau(c_{l,k})$ of the TRT; J_i conducts the assigned operation, where $0 \leq \tau(c_{l,k})$. Time of finalized $\tau(f_{l,k})$, is the time in which the instance with index of time interval k of the TRT J_i finishes the

execution of an operation, without considering the evacuations of the processor. Time of finalized maximum $\tau(D_{Max,l,k})$, is the time in which the instance

with index of interval time k of the TRT J_i , finishes the execution of an operation, considering the evacuations of

this one in the processor. Term $\tau(d_{l,k})$, is the time that the instance answer must be given without delays, time established according to the criteria specified in the task $J_{i,k}$. So that the time of delivery of the instance must be smaller or equal to the required time so that instance is

$$\tau(D_{Max,l,k}) \leq \tau(d_{l,k})$$

made A RTS requires in agreement with [Med08] to fulfill the concepts of observability, stability, controllability and reach expressed [Kalman] and [cai86], since otherwise we would have to a digital system that receives and gives information without knowing on what quality counts and less not adapted knowledge if it is. Of internal way it commits the RTS need the synchrony of the instances that conform to the task and equal, it happens with the group of tasks that gives life to the system of monitoring - control. Of external way the response time of the SRT, requires to be in synchrony in the temporary evolution of the system to monitor and to control, fulfilling [Nyq28]; it is to say $\tau(d_{l,k}) \leq \frac{1}{2 f_{max}(\text{system.to.observe.and.control})}$.

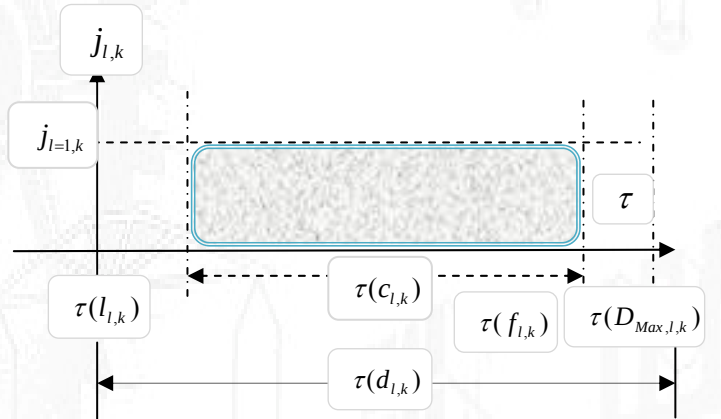


Fig. 1 Temporal elements of the instance in Real Time Task.

Definition 2. Real Time System (RTS); The RTS is a digital system interacting actively with surroundings with well-known dynamics in relation to its temporary inputs, outputs and time restrictions, giving a correct operation according to the stability, controllability, reliability concepts in agreement to [Cai86], [Hay91], [Nyk28], [Kot33] and [But91].

In this definition we observe that the RTS hasn't tolerance in time sense, considering that the interval evolution definite by the difference between the output and input information times, accomplished the [Nyk28], [Kot33] criteria.

When considering the properties of the systems in real time within the FMS, are required that the development of products through the cells of manufacture as well as their transfer of the matters, counts on a synchrony and specific times of operation, requiring in general terms within the digital system of the planning of the group of required tasks fulfills all the restrictions of lots to be developed within a

⁸ An entity is the essential part of a RTS.

certain time interval. Focusing us in this so simple work to the conceptualization of the cells of FMSRT.

IV. FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM IN REAL TIME (FMSRT)

A FMS is dynamically interacting with its environment according to a group of projects in specify, receiving and integrating so much inputs as products, respectively according to the considered lots to be developed in a interval time. As well as the FMS is affected by a group of states and operations within the chain that composes its productive system in hardware, software, and in a combination of both. The changes that will be made in the order of use of the cells of manufacture to obtain a product sequence to feed the asked for lots of production, must to: a) Number of products to make by each lot, b) Service life of the product within the manufacture process, that is to say, the group of cells to use there in an order, considering to the dead transfers, times as well as the group of preparations that must have the cell use with the specific aim, product c) Joint to manufacture by lot in pre-established limit time, for the set.

This brings like consequence the preparation of the work cycles within the FMS that is to say, the programming of the different automatic elements (robots, actuators, machining centers, inspection systems, etc.), the registry of information of relation to the tolerances and type of quality of the product, fulfilling specifications predetermined by the group of designs to be developed in the FMS. In this work is considered that the central control system is of the recurrent type, so the planning is made with a single processor, and allocation of resources of sequential way, first of all looking for the total delivery of the lots in a pre-established interval time. Given these properties a FMSRT can be developed.

Definition 3 Instance. Is the unit of nuclear operation in a cell of manufacture $J_{i,k}$, so that $j_{l,k} := (\tau(l_{l,k}), \tau(c_{l,k}), \tau(f_{l,k}), D_{Max,l,k})$, $l, k \in Z_+$ (Figure 1)⁹

- Arrival time $\tau(l_{l,k})$ is the time in which the instance considers list to be executed, warning the processor of its situation.
- Processing time $\tau(c_{l,k})$, is the time in which the instance with index of interval time k of the TRT; J_i conducts the assigned operation, where $0 \leq \tau(c_{l,k})$.
- Delivery processing time $\tau(f_{l,k})$, is the time in which the instance with index of time interval k of the TRT J_i , finishes the execution of an operation, without considering the evacuations of this one in the processor.
- Maximum delivery time $\tau(D_{Max,l,k})$ is the time in which the instance with index of interval time k

of J_i finishes the execution of an operation, considering the evacuations of this one in the processor.

- Term $\tau(d_{l,k})$, is the time in which the instance answer must be given without delays, time established according to the criteria specified in the task $J_{i,k}$. So that the delivery time of the instance must be smaller or equal to the required time so that this instance is made: $\tau(D_{Max,l,k}) \leq \tau(d_{l,k})$.

1. **Definition (Task - Cell (C_j^i)).** It is the feasible entity of work that realizes a cell of manufacture inside a production process, formed by a group of instances that conforms the cell.

Definition 4 Production Process (PP). Finite set of tasks - cells $\{C_j^i, i, j \in Z_+\}$ since they count on the property in common of being part in the accomplishment and obtaining of an end item of precise way or a product group that conforms a lot within the FMS. Their respective (I/O) entrances (I=Input) and exits (O=output), within each task cell can have the following relations: SISO, MISO, SIMO, MIMO (I=input, O=output, S=single, M=multiple); fulfilling in individual form with the imposed temporary restrictions to the elements of each cycle of process without it discredits with it the quality of his answer (Fig. 2)

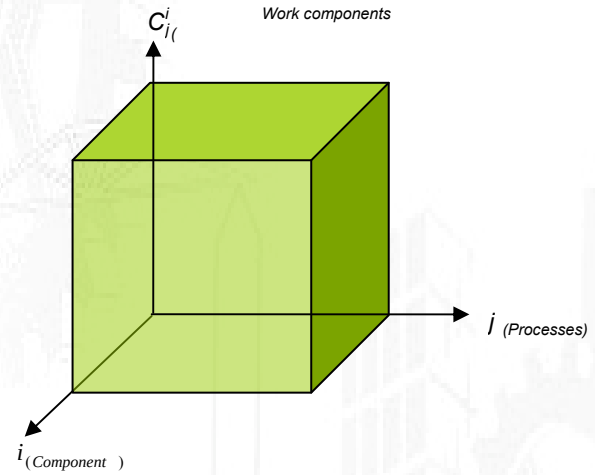


Fig. 2 Work components of a production process in FMS.

Work components of a production process across the flexible manufacture.

The cardinality of the set of components or task - cells in a FMS is finite, that is to say, $\#\{C_j^i, i, j \in Z_+\} < \infty$. One of the essential elements inside the FMS is the task - cell of manufacture, which is provided with a group of instances, with entrances, exits, as well as a life cycle, remaining described in an illustrative way in Fig. 3. Another essential element is regarding the task-transport.

$C_j^i(k) := \{(u_k^m, c_k^m, y_k^m) : m = \overline{1, j}\}$, $m = \overline{1, j}$, has an order respect to the lot in which it will make manufacture i ,

⁹ For FMS the operation term is used and in the RT context the term used is instance.

an index of the cycle where is k and the number of instances that the component j ; being temporarily limited by a term $\tau(d_{l,k})$, which be called term of the task-cell of manufacture. The instances within the task-cell are the minimum operations to be made within the cell of manufacture, being indivisible. Symbolically the instances $c_k^m \in C_j^i$ described by triad (u_k^m, c_k^m, y_k^m) considering that being a digital system $\#\{c_k^m\} \leq \infty$, that is to say, has finite dimension [Ash].

Definition 5 Operations Space (OS). The OS in the FMS is formed by the set of the realizable combinations by the set of the task - cells, being described symbolically by $\mathfrak{S}_{EO}$ [Ash]. Fulfilling hat this space is finite, that is to say, $\#\mathfrak{S}_{EO} < \infty$.

Definition 6 Operations Space with Time Restrictions (OSTR). The OSTR is a subclass within the OS in relation to the cycle of the lot of production that must be given in a specific time, in agreement with the system with which interacts the FMS [Nyq28].

Theorem 1: The OSTR is limited by the OS

Test: The OS according to definition 3, is formed by all the combinations possible of the set of nuclear operations to be made within the FMS (the task group - cells), now if we considered that each one of them has associate a time of

operation; within the space of operations $\mathfrak{S}_{EO}$ will be a subspace within the set of subspaces of operations that are valid for the process to be developed according to the pre-established times for the production cycle; we call this subspace $\mathfrak{S}_{EOT}$, and it is contain in the OS, that is to say, $\mathfrak{S}_{EOT} \subseteq \mathfrak{S}_{EO}$.

Theorem 2: The FMS requires fulfilling conditions of synchrony with the process that interacts and like that between each one of its task-cells.

Test: We considered that each one of the operations selected for cycle of a process has according to definition 2 an associated component, as well as an atomic operation associate, which means that the cycle is within the FMS, as well as the times of interaction between each one of its components. In this circumstance the times of interaction are in synchrony between consequent components by pairs, and that in opposite case, will lose the cycle of the process and will have delays in the delivery of the cycle; losing of that way the synchrony with the real process of which it receives raw material and to which it gives a product.

System described like, where X is joint of cells of manufacture $\{\chi_i\}$, interconnected by means of a system of transportation of raw material $\{\pi_i\} \subseteq \Pi$, $\pi_{i,j} : trans(\chi_i) \rightarrow trans(\chi_j)$, $\chi_i \neq \chi_j$ and which they operate by means of a system of central control σ , assigning to the resources of the system according to a pre-established criterion $\sigma_{m,l}$, so that $\sigma_{m,l} : X_m \rightarrow \Pi_l$, $X_m \subseteq X$, $\Pi_l \subseteq \Pi$.

Definition 7 FMSRT is a system that (C_i^j, Π, σ) where C_i^j is joint of cells of manufacture $\{C_i\}_j$, interconnected by means of a system of transportation of raw material $\{\pi_i\} \subseteq \Pi$, $\pi_{i,s} : trans(\chi_i) \rightarrow trans(\chi_s)$, $\chi_i \neq \chi_s$ and which they operate by means of a system of central control $\sigma_{m,l}$, assigning to the resources of the system according to a pre-established criterion $\sigma_{m,l}$, that $\sigma_{m,l} : C_m \rightarrow \Pi_l$, $C_m \subseteq C_i^j$, $\Pi_l \subseteq \Pi$ where the synchrony between each one of its cells C_j^i allows that the sequence established in $\mathfrak{S}_{EOT}$ is marked in temporal way and that the delivery of the product is made $(P=\{p_j\})$ con $1 < j \leq m$ y $j, m \in \mathbb{Z}^+$ according to the restrictions of time imposed by the process in the feeding [Nyquist28] without discredit of a pre-established quality [Med08], forming a set of routes of transportation by requirement $V = \{v_i, j\}$, a set of maximum terms by route $D = \{d(v_i, j)\}$ and a set of run times of the cells $D = \{d(v_i, j)\}$ con $d(v_i, j) \in \mathbb{R}^+$ y $d(v_i, j) < df(v_i, j) \forall i, j$. In illustrative form we can see it in Fig. 3.

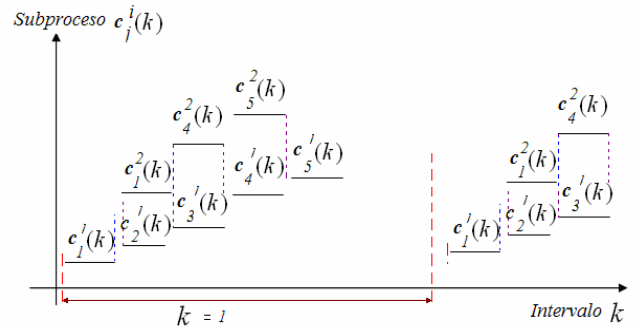


Fig. 3 Two cycles using shared resources

Theorem 3: That manufacture systems are called FMSRT in which by pairs of operations is fulfilled that $\bigcap_j \mathfrak{S}_{EOT}^j \neq \emptyset$ where j is the cycle of the process.

Test: According to the concept of FMs seen in the previous section, which can be seen that in this class of systems must interact more than two cycles or processes, which means that the set of components and that operations must be used so much by one as by another cycle in different times,

meaning that $\bigcap_j \mathfrak{S}_{EOT}^j \neq \emptyset$ is fulfilled.

In the following section an example appears in which the FMs system counts on two processes, which have interaction within the atomic tasks but in different times from use. What allows to observe in a illustrative way the temporary synchrony and the nuclear operations that compose the Operations Space.

V. FMSRT REAL APPLICATION

For the example reference taking a FMS in which two products are going to be and that when having nuclear operations that use resources and that allow to give an answer without the temporary properties by obstruction among them are lost. In specific requires fulfilling the synchrony, like the delivery of each one of the products,

with a quality that in average is acceptable, dimensionally speaking.

The FMS used is structured with three stations: Warehouse of raw material (Robot SCARA ER-14 ESHED ROBOTEC, sensorial system and electro pneumatic devices), Machining (Center of Turning, Center of Milling, Anthropomorphic Robot IRB 140 ABB, sensorial system and electro pneumatic devices) and Inspection/Assembly (Anthropomorphic Robot MK-2 ESHED ROBOTEC, sensorial system and electro pneumatic devices), all of them in communication thanks to a system of local network Central Communication (CC-Link) and that as element of operational control is Programmable Logic Controller (PLC) who is programmed with a high-level language. It is possible to mention that each station counts on information means that show production characteristics (asked for Products, time of operation, etc.) Fig. 4 and 5.



Fig. 4 Photo of the SFM of the School of Engineering of the Panamerican University.

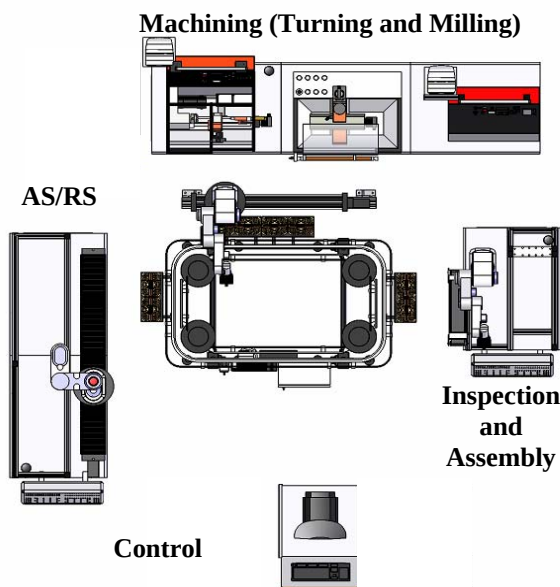


Fig. 5 Scheme of the SFM of the School of Engineering of the Panamerican University.

Therefore and in consideration of the capacities of the FMS in terms of geometric characteristics, dimensional, physical and aesthetic the products to make are: 1. Machining and Ensemble of a Chronometer and 2. Machining and Ensemble of a Penholder.

These two products are detached by nuclear operations of each product and in addition they require a time determined

for its execution which is determinate by the complexity of the same operation. In the tables it is observed its interaction with each part of the system, in addition to the run times of each operation, nevertheless for questions of adaptability of an efficient control of a FMSRT is necessary to consider the process flow like an integrated diagram of precedence.

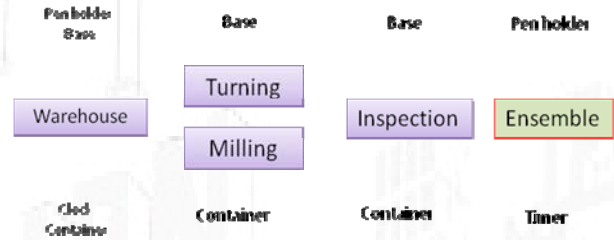


Table 1 Development of manufacture of products in the SFM.

Making a study of times was obtained that the times of each operation are:

Products	Product part	Time
Chronometer	Box Clock	153 s
Penholder	Base Pen	113 s

Table 2. Records respect to DFMS.

It is important to consider that the time transport to

Table 2. Development of manufacture of products in the SFM and times of manufacture.

It is important to consider that the time of transport to each station is of 5s, therefore for the Chronometer has a total time of 173 s and for the 133 Penholder s is of. In these conditions and if the production were in line considering that is required to produce 100 chronometers and 100 Penholders, the time of delivery would be taking from reference that the first order of production is of the chronometers, the time of delivery would be: 4.80 hrs. And for the Penholder 3.69 hrs. Having time total of delivery of 8.49hrs.

VI. CONCLUSIONS

For the conditions of a FMSRT that is not a process in line and that all action corresponds to a process FIFO (FIRST INPUT/FIRST OUTPUT) and in addition to being able to make decisions on the basis of the availability from the resources, allowing that at any moment the equipment this in operation, is to say a combined flow series-parallel, executing n-duplex of operations.

With these considerations, which are the ideals of operation of a FMS has the time of delivery will be the time of production of the Chronometer, that is to say, 4,80 hrs., which represents an efficiency of 43% in the system, and considering that:

For definition 1: The FMS counts on their components independent and official notices among them through a local network CC-Link, in synchrony with environment thanks to

their I/O fulfilling random answers and temporary imposed by the cycle of the process.

For definition 2: The operations conducted in the SFM have principle and aim, is to say are in a specific and combined cycle within the FMS.

For definition 3: Completing the previous definition, it is had being a cycle also specify must fulfill a specify time and within the manufacture this is vital to manage to fulfill the times standard of production.

Finally, all the proposals lead to say that to the FMSRT this in synchrony in their operations thanks to the answers of the I/O in random form and weathers that are had when the system this in operation.

With these fundamentals one says that the system behaves of the following way:

- Interaction with the real world. Appling this in a real production system and in addition in a daily operation to the industry.
- Correct Answers. The operation must fulfill the engineering specifications and the system registers true information of the happened thing in the operation.
- Answer limited in time. Since it fulfills an annotated time; and this is exemplified in the following equation:

Nevertheless, for the conditions of the FMSRT with synchronous nuclear operations between processes, the total time for the delivery of products of unitary form will be the greater time of the processes in independent form of considered products, and that will contain to all the other processes, so that globally the time of all the processes was reduced so single to the time of the longest process; as long as the synchrony between all its nuclear operations with respect to each process is obtained.

When the maximum time is much very great respect to the time necessary to make another product, it is more advisable than they are made of independent way; therefore it is important, that this difference is not greater to a 30%

On the previous thing we counted on the following definition.

- Real time is determining in the operations of the System of Flexible Manufacture.
- The conditions of the real time are fulfilled that are: Interaction with the real world, Correct Answers and Answer limited in time.
- The yield of a SFM is maximized.
- It demonstrates that by very simple that they are the operations in the SFM, it is possible to be spoken of real time.
- It does not serve as anything/it does not work to force of qualitative form the operations that are developed in a SFM, that is to say, a SFM must count on systems of information registry that contributes to the adaptation and correction of faults in the system.

- [2] David M Upton. A FLEXIBLE STRUCTURE FOR COMPUTER-CONTROLLED MANUFACTURING SYSTEMS, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, MA 02163 E-mail: upton@stig.harvard.edu, Copyright (c) 1994 Harvard Business School A version of this paper appeared in Manufacturing Review Volume 5 (1), 1992 pp. 58-74.
- [3] Gerard K. Boon, Alfonso Mercado. Automatización Flexible en la Industria; Difusión y producción de máquinas herramientas de control numérico en América Latina. LIMUSA NORIEGA. México 1990.
- [4] C Ray Asfahl. Robots and Manufacturing Automation. John Wiley and Sons, USA 1995.
- [5] Geoffrey Boothroyd. Assembly Automation and Product Design. DEKKER, USA 1992.
- [6] Tien-Chien Chang, Richard A. Wysk, "Computer-Aided Manufacturing", Segunda edición, Prentice Hall International.1998.
- [7] Paul G. Ranky. The design and operation of FMS : flexible manufacturing systems, January 1984.
- [8] Guevara, P., Medel, J. (2003): Introducción a los Sistemas en Tiempo Real, (1ª.), México, IPN.
- [9] Félix Sanz Adán, Julio Blanco Fernández. CAD/CAM, Gráficos, animaciones y simulación por computadora. THOMSON, España 2002.
- [10] The International Federation of Robotics. World Robotics 2001, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment. United Nations.
- [11] Lee R. Nyman. Making Manufacturing Cells Work. Mc Graw Hill. USA 1992.
- [12] Nigel R. Greenwood. Implementing flexible manufacturing systems, USA 1988.
- [13] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. (1994): Product Design for Manufacture and Assembly. (7ª), New York (United States of America), Dekker
- [14] Boothroyd, G. (1991): Assembly Automation and Product Design. (3ª.), United States of America, Dekker.
- [15] Narayanan, S., Gokul, K., Janardhan, K., Kuppan, P. (2006): CAD/CAM Robotics and Factories of the Future, India, Narosa.
- [16] The Oxford Dictionary of Computing.
- [17] Young (1982). [18] Randell (1995).
- [19] Yourdan (1989).
- [20] Flexible Manufacturing Systems IEEE (1989).

Hernandez Gabriel, Research Professor and Chair. Sciences in Engineering, Mexico City. He is professor in Sciences in Engineering graduated from the Professional Unit Interdisciplinary of Engineers Social Sciences and Administrative (UPIICSA) of the National Polytechnic Institute (IPN). He has interest in investigations on the new form of organization of Manufacture Integrated by Computer (CIM), systems of subjection and transport of materials, optimization of productive processes, advising in the Planning of Processes by Computer (CAPP), advising in the selection of processes, in addition to the design of equipment automated for the packing, manipulation and the joint of diverse products of the industrial and educative area. gahlope@up.edu.mx

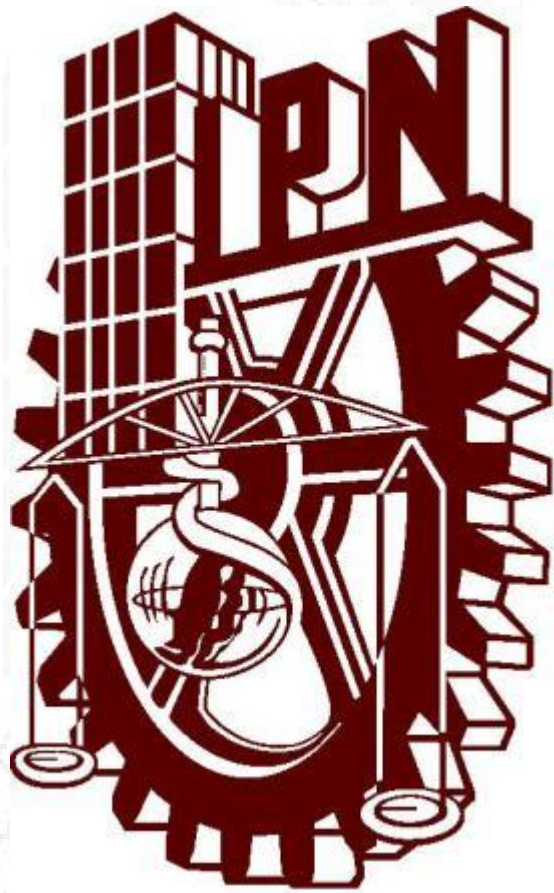


Medel José de Jesús. PhD. (1998) and Sciences Master (1996) in Electrical Engineering (Automatic Control) in Advanced Studies and Research Center. He is Aeronautic Engineering (1994) by National Polytechnic Institute (IPN) Electrical and Mechanics Engineering School Mexico. He is professor C at the Research Institute Center and Advanced Technology and Applied Center as well as Invited Professor. He published 2 books and over 20 scientific papers in journals (ISI and CONACYT), and over 80 conferences proceedings. He is member of Research National System (SIN) level 1. And Member of the Sciences Mexicana Academic. The focus is in Digital filter Control Theory and Real Time System. jjmedelj@yahoo.com.mx



REFERENCES

- [1] Gerard K. Boon, Alfonso Mercado. Automatización flexible en la industria; Difusión y producción de máquinas herramientas de control numérico en América Latina. LIMUSA NORIEGA. México 1990.



“La Técnica al Servicio de la Patria”