

**OPTIMIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FLEXIBLE
DE MANUFACTURA**

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN INGENIERIA INDUSTRIAL

**INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE MONTERREY**

por

MARGARITA MARIA SANCHEZ BOURS

NOVIEMBRE DE 1996

OPTIMIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FLEXIBLE
DE MANUFACTURA

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA INDUSTRIAL

INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE MONTERREY

POR

MARGARITA MARIA SANCHEZ BOURS

NOVIEMBRE DE 1996

OPTIMIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FLEXIBLE
DE MANUFACTURA

POR

MARGARITA MARIA SANCHEZ BOURS

TESIS

Presentada a la División de Graduados e Investigación
Este Trabajo es Requisito Parcial
para Obtener el Título de
Maestra en Ciencias

INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE MONTERREY

NOVIEMBRE DE 1996

A la memoria de mi padre
Ing. Carlos Sánchez Castellanos

*A*gradezco profundamente a la familia Navarro Platt, Antonio, Josefina, María José, Jorge, Carlos y Pablo el apoyo brindado para la realización de mis estudios de maestría.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis de las características del sistema flexible de manufactura instalado en el Centro de Manufactura del ITESM campus Sonora-norte y se propone un procedimiento para optimizar su funcionamiento considerando el tiempo de respuesta del sistema ante una orden de producción específica.

El modelo propuesto se aplica detalladamente en la fabricación de tres productos, los cuales fueron seleccionados según los criterios que se establecen en el mismo modelo.

Finalmente, se compara de manera muy general el desempeño de este sistema flexible de manufactura con el desempeño de otros tipos de sistemas.

Indice

	Página
Resumen	<i>vi</i>
Lista de Abreviaturas	<i>x</i>
Lista de tablas	<i>xi</i>
Lista de figuras	<i>xii</i>
Lista de programas	<i>xiii</i>
Capítulo 1	
INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivo de la tesis	3
1.5 Alcances y limitaciones	3
Capítulo 2	
MARCO CONCEPTUAL	4
2.1 Automatización	4
2.1.1 Tipos de automatización	4
2.1.2 Tipos de control	7
2.2 Sistemas Flexibles de manufactura	7
2.2.1 Definición	7
2.2.2 Componentes de un FMS	7
2.2.3 Flexibilidad	8
2.2.4 Tipos de FMS	9
2.2.5 Tipos de configuración de un FMS	10
2.2.6 Areas de aplicación de los FMS	14
2.3 Control Computarizado de un FMS	15
2.3.1 Niveles de control	15
2.4 Sistemas de Manejo de Materiales y Almacenamiento	18
2.4.1 Equipo utilizado en los sistemas de manejo de materiales	18
2.4.2 Análisis del sistema de manejo de materiales	19

2.4.3 Sistema de Almacenamiento	20
2.4.4 Sistema automatizado de carga/descarga AS/RS	20
2.5 Robótica Industrial	22
2.5.1 Definición	22
2.5.2 Anatomía y Configuración de los robots	22
2.5.3 Movimientos del robots	26
2.5.4 Volumen de trabajo	28
2.5.5 Capacidad de transporte y de carga	29
2.5.6 Velocidad de respuesta y estabilidad	29
2.5.7 Precisión de movimiento	31
2.5.8 Sistemas de impulsión del robot	34
2.5.9 Sistemas de control del robot	35
2.6 Sistemas de Control Numérico	37
2.6.1 Componentes de un Sistema de control numérico	37
2.6.2 Exactitud y repetibilidad	38
2.6.3 Tipos de sistemas de control numérico	39
2.7 Inspección Automatizada	40
2.7.1 Gage	40
2.7.2 Sistema de visión de máquina	41
2.8 Interfase	42
2.8.1 Interfase I/O	43
Capítulo 3	
PROCEDIMIENTO	44
3.1 Descripción del Sistema Flexible de Manufactura AMATROL instalado en el Centro de Manufactura	45
3.1.1 Descripción General del FMS	45
3.1.2 Control Computarizado	48
3.1.3 Interfase del FMS de Amatrol	49
3.1.4 Banda Transportadora	51
3.1.5 Sistema Automatizado de Carga y Descarga	53
3.1.6 Robot PUMA Mark II	60
3.1.7 Robot Movemaster MITSUBISHI RV-M1	66
3.1.8 Robot JUPITER XL	73
3.1.9 Sistema de Visión 866-VS	81
3.1.10 Centro de Maquinado Vertical VMC-535	86

3.1.11 Torno KRYLE KL-200	91
3.2 Selección de Productos	94
3.3 Planeación y diseño del proceso de manufactura	94
3.3.1 Diseño para manufactura	95
3.3.2 Planeación de la manufactura	95
3.3.3 Planeación de las operaciones de maquinado y preparación de los datos tecnológicos	101
3.3.4 Planeación de movimientos de los robots	101
3.4 Preparativos en el FMS para fabricarlos productos seleccionados.	102
3.4.1. Accesorios de los pallets	102
3.4.2. Dispositivos alimentadores	102
3.4.3. Efectores de los robots	102
3.5 Diseño de los programas de cada equipo.	103
3.6 Integración de los equipos del FMS.	124
3.6.1 Distribución de estaciones	124
3.6.2 Configuración de estaciones	124
3.6.3 Configuración del proceso	126
3.6.4 Compilación	127
3.7 Optimización de la operación del FMS	128
3.8 Análisis de resultados .	129
3.9 Comparación del desempeño del FMS con los procesos que se utilizan en la región.	131
3.10 Modelo para optimizar el funcionamiento del FMS	133
 Capítulo 4	
CONCLUSIONES	135
 ANEXOS	137
Anexo 1 Descripción de los puntos usados en los programas	138
Anexo 2 Reportes de estadísticas de simulación	141
 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	157

LISTA DE ABREVIATURAS

ACL	Lenguaje de Control Automatizado
AGVS	Vehículo Guiado Automáticamente
AS/RS	Sistema Automatizado de carga/descarga
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistida por Computadora
CD	Corriente Directa
CIM	Manufactura Integrada por Computadora
CN	Control Numérico
CNC	Control Numérico Computarizado
CR	Resolución de Control
FMS	Sistema Flexible de Manufactura
I/O	Entradas/Salidas
ITESM	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
MCU	Unidad de Control de Máquina
MRP	Planeación de Recursos Materiales
MHCN	Máquina Herramienta de Control numérico
P&D	Levantar y Depositar
PEC	Controlador Electrónico Programable
PTP	Punto a Punto
PUMA	Programation Universal Machine for Assembly
RE	Resolución Espacial
RIA	Robotic Industries Association
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
VCD	Volts de Corriente Directa
VMC	Centro de Maquinado Vertical

LISTA DE TABLAS

	pagina
1 Plan de notaciones para configuraciones de robots	28
2 Ventajas y desventajas relativas de los sistemas de impulsión	35
3 Instrucciones de programación del AS/RS	59
4 Instrucciones de programación del PUMA	63
5 Señales de entradas/salidas (WX/OX) del sistema PUMA	66
6 Instrucciones de programación del robot Mitsubishi	69
7 Señales de entradas/salidas (I/O) del Mitsubishi de la estación 5	72
8 Señales de entradas/salidas (I/O) del Mitsubishi de la estación 6	73
9 Ejes de movimiento del robot Júpiter	75
10 Instrucciones de programación del robot Júpiter	78
11 Señales de entradas/salidas (I/O) del robot Júpiter	80
12 Instrucciones de programación del sistema de Visión	84
13 Señales de entradas/salidas (I/O) del sistema de Visión	85
14 Recorrido de los ejes de movimiento del VMC-535	87
15 Códigos y Funciones Auxiliares del torno y VMC535	89
16 Señales de entradas/salidas (I/O) del VMC 535	91
17 Especificaciones de capacidad del Torno KL-200	92
18 Funciones empleadas en la interfase del torno KL-200	138
19 Configuración de estaciones	125
20 Configuración del proceso	127
21 Resumen de las configuraciones simuladas	130
22 Comparación del desempeño del FMS con otros procesos	132

LISTA DE FIGURAS

	Pagina	
1	Automatización en función del volumen de producción y variedad de productos	6
2	Configuración en línea de un FMS	11
3	Configuración en ciclo de un FMS	12
4	Configuración en escalera de un FMS	12
5	Configuración de campo abierto de un FMS	13
6	Configuración de robot central	14
7	Ubicación de los FMS en relación al volumen de producción y flexibilidad	15
8	Funciones de control computarizado de un FMS	17
9	Configuración polar de los robots	23
10	Configuración cilíndrica de los robots	23
11	Configuración cartesiana	24
12	Configuración de brazo articulado	24
13	Configuración SCARA	25
14	Tipos de articulaciones en los robots	27
15	Velocidad de respuesta y estabilidad en robots	30
16	Resolución espacial de un robot	32
17	Repetibilidad y exactitud de un robot	34
18	Componentes de un sistema de control numérico	38
19	Señal digital común	42
20	Distribución del FMS instalado	47
21	Niveles de control del FMS instalado	49
22	Figura del pallet	52
23	Ejes de movimiento del AS/RS	54
24	Distribución y definición de bahías	56
25	Estructura del software del AS/RS	57
26	Sistema del robot PUMA 560	60
27	Ejes de rotación y rango de operación del robot PUMA	61
28	Flujo de información en el sistema del robot PUMA	62
29	Componentes del sistema Mitsubishi RV-M1	67
30	Brazo electro-mecánico del Mitsubishi	68

31	Mapa de movimientos del brazo del robot Mitsubishi	69
32	Brazo del robot Júpiter XL	74
33	Ejes de movimiento del robot Júpiter	75
34	Volumen de trabajo del Júpiter	76
35	Mapa del menú de Software C/ROS	77
36	Componentes del sistema de Visión 866-VS	81
37	Menús para crear un "setup" en el sistema de Visión	84
38	Centro de maquinado vertical VMC-535	86
39	Ejes de movimiento del VMC-535	87
40	Ejes de movimiento del torno KL 200	92
41	Area de trabajo del torno KL 200	93
42	Gráfica de ensamble de tarjeta electrónica	96
43	Diagrama de proceso de tarjeta electrónica	97
44	Diagrama de operaciones y proceso de flecha	98
45	Diagrama de operaciones de bisagra	99
46	Diagrama de proceso de bisagra	100
47	Modelo de optimización del funcionamiento del FMS	134

LISTA DE PROGRAMAS

	Pagina
1.-MABFRE diseñado para el VMC	104
2.-MABMIT diseñado para el robot Mitsubishi	106
3.-MAPUMA diseñado para el robot PUMA	108
3.1 Subrutina IRFRESA	108
3.2 Subrutina FRE1	108
3.3 Subrutina FRE2	109
3.4 Subrutina FRE3	110
3.5 Subrutina FRE4	111
3.6 Subrutina IRTORNO	111
3.7 Subrutina TOR1	112
3.8 Subrutina TOR2	112
3.9 Subrutina TOR3	113
3.10 Subrutina TOR4	114
4.-MABVIS diseñado para el sistema de visión.	114
5.-MAFTOR diseñado para el torno KRYLE	115
6.-MATJUP diseñado para el robot JUPITER	116
7.-MATVIS diseñado para el sistema de visión.	123
8.-MARA diseñado para el sistema 862-AS/RS	124

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Actualmente los mercados se caracterizan por tener patrones de demanda inestables, además de ser cada vez más exigentes en cuanto a calidad, tiempos de entrega, variedad de productos y servicios; esto, ha provocado que las industrias manufactureras conscientes de que los cambios en el entorno están ajenos a su control, estén buscando alternativas para mantener su posición competitiva en el mercado.

Una de las opciones que está siendo contemplada por las empresas manufactureras, consiste en modificar su sistema de producción para poder responder rápidamente a las crecientes exigencias, y algunas de ellas están analizando las ventajas de contar con un sistema de producción flexible en términos de su contribución al fortalecimiento de su posición competitiva.

Los avances tecnológicos en el área de manufactura, y el desarrollo del control computarizado han sido muy importantes en las últimas décadas, lo cual ha provocado que la ingeniería de manufactura tienda hacia el desarrollo y la implementación de la Manufactura Integrada por Computadora, por los beneficios de calidad, bajos inventarios y rapidez en el desarrollo de nuevos productos.

1.1 ANTECEDENTES

Dentro del Plan de Desarrollo del Gobierno del Estado de Sonora, se contempla la construcción del Corredor Industrial Sonora-Arizona; la Manufactura constituye la principal área de interés de parte de los inversionistas por las excelentes perspectivas que ofrece la región.

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus Sonora-Norte, en su interés por mantenerse a la vanguardia como promotor del desarrollo regional ha creado el Centro de Competitividad Internacional donde funciona el Centro de Manufactura equipado con los más modernos avances tecnológicos en el área, como son los Sistemas Flexibles de Manufactura y los Sistemas de Manufactura integrada por computadora.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Una de las estrategias utilizadas en nuestro país para lograr mejoras tecnológicas consiste en la adquisición de equipos y procesos. Para que esta estrategia pueda ser efectiva a largo plazo, es importante el tratar de minimizar algunos efectos secundarios no deseables como pudieran ser la lentitud para alcanzar el desempeño óptimo del equipo debido al tiempo que se requiere para tener familiaridad y dominio de estos.

Se corre el riesgo de que a falta de conocimiento técnico, el equipo adquirido sea una caja negra para el personal que lo opera, lo cual crea una insaciable necesidad de asesoría externa. Equipos de primera clase llegan a ser subutilizados por falta de conocimiento y capacitación adecuada.

Aunque el Centro de Manufactura del ITESM no es una industria de transformación, también está expuesta a padecer efectos secundarios no deseados al adquirir tecnología de punta para una mejor capacitación de sus estudiantes; por lo que es de vital importancia contar con un plan de transferencia de tecnología que asegure su independencia tecnológica, su posición a la vanguardia educativa y como promotor del desarrollo regional.

Un elemento fundamental en el proceso de transferencia de tecnología es la disponibilidad de información. Tener disponible información propia y de otros sistemas similares respecto a las características y especificaciones del equipo adquirido, así como también del software con el que funciona, puede dar claridad a todo el personal, ayudando a que se familiarice más rápido con el equipo para su mejor utilización y aprovechamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Siendo la manufactura un área prioritaria en el desarrollo regional, el conocimiento, análisis y difusión de los más recientes avances en este campo, como son los Sistemas Flexibles de Manufactura (FMS), resultan de gran interés. Además de los aspectos teóricos y operativos de un FMS, es muy importante aplicar los conocimientos de la Ingeniería Industrial en busca de la optimización de la producción.

Para el Centro de Manufactura del Centro de Competitividad Internacional del ITESM campus Sonora-norte, de reciente creación, será de gran ayuda contar con un documento donde se analicen desde el punto de vista de la Ingeniería Industrial aspectos teóricos relevantes de un FMS, así como también las características específicas del sistema que se encuentra instalado.

1.4 OBJETIVO

En base a lo anterior, el objetivo de esta tesis puede enunciarse de la siguiente manera:

Diseñar un procedimiento para optimizar el funcionamiento del Sistema Flexible de Manufactura instalado en el ITESM campus Sonora-norte, y aplicarlo en la fabricación de 3 productos requeridos en la región.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

En este trabajo se analizan desde el punto de vista de la Ingeniería Industrial aspectos teóricos relevantes de un sistema flexible de manufactura, así como también las características específicas del sistema AMATROL que se encuentra instalado en el Centro de Manufactura, por lo cual, lo que aquí se expone sólo puede generalizarse para sistemas con características similares.

La operación y optimización del equipo es con las condiciones actuales, es decir, no se contemplan cambios en la distribución del equipo ni modificaciones mecánicas; además, se consideró que el sistema flexible de manufactura se encuentra en condiciones óptimas de diseño funcional.

La optimización del funcionamiento del sistema está limitada a las operaciones del piso de manufactura, es decir, no se incluyen otros niveles del sistema de manufactura integrado por computadora.

El procedimiento que se sigue en este trabajo para la operación y optimización del FMS, pretende orientar a los usuarios del mismo respecto a su utilización adecuada, desde el punto de vista del diseño y planeación del proceso de manufactura. No es una guía de operación de los equipos ni contempla aspectos de seguridad y mantenimiento.

Capítulo 2

MARCO CONCEPTUAL

La diversidad de términos y conceptos relacionados con los sistemas flexibles de manufactura es muy extensa. Muchos de estos conceptos se utilizan en diversas disciplinas con distintos enfoques o significados, lo que se puede prestar a ciertas confusiones.

En esta sección se analiza el significado conceptual con el que se emplean algunos términos en este trabajo.

2.1 AUTOMATIZACIÓN

En un contexto industrial, la automatización se puede definir como una tecnología que está relacionada con la utilización de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras para la operación y control de la producción. (Groover, Weiss, Nagel y Odrey, 1990)

Dentro de esta tecnología se incluyen: líneas de transferencia, sistemas de manejo de materiales y almacenamiento, máquinas de montaje, sistemas de inspección, control de realimentación, máquinas herramienta de control numérico, robots industriales, y equipo de uso especializado.

2.1.1 Tipos de automatización:

La automatización industrial se clasifica en tres categorías básicas:

- a). Automatización fija
- b). Automatización programable
- c). Automatización flexible

2.1.1.1 Automatización fija.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción de un producto es muy alto, de tal forma que se puede justificar económicamente el diseñar equipo especializado para procesarlo. La inversión inicial que se requiere, generalmente es elevada, pero, al dividirse entre un gran número de

unidades producidas, los costos unitarios resultantes son bajos en comparación con los métodos de producción alternativos.

Uno de los inconvenientes con este tipo de automatización es que el equipo está especialmente diseñado para fabricar cierto tipo de producto, lo cual lo hace muy inflexible, y una vez que se acaba el ciclo de vida del producto, es muy probable que el equipo quede obsoleto. Para productos con ciclo de vida cortos, la automatización fija es un gran riesgo. También se pueden tener problemas cuando la demanda del producto ó el volumen de producción resultan ser mas bajos que los previstos, ya que esto incrementaría los costos unitarios del producto, haciendo mas difícil la amortización de la inversión inicial.

2.1.1.2 Automatización programable

Este tipo de automatización se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y se procesan diferentes configuraciones de productos. El equipo puede adaptarse a las diferentes configuraciones ya que está diseñado para funcionar bajo el control de un programa. Para cada producto que se procesa, es necesario preparar un programa donde se le proporciona al equipo las instrucciones de maquinado ó montaje que debe realizar para obtener el producto.

Los sistemas de producción con este tipo de automatización se usan para volúmenes de producción medios, y generalmente la producción es por lotes, ya que el tiempo de preparación al cambiar de un producto a otro en ocasiones es muy significativo, pues el sistema debe ser reprogramado con las instrucciones correspondientes al nuevo producto, también es necesario hacer los preparativos físicos del equipo, por ejemplo: colocar nuevas herramientas, instalar los dispositivos que se requieran para maquinar o ensamblar el nuevo producto, Etc.

2.1.1.3 Automatización flexible.

La automatización flexible es una extensión de la automatización programable desarrollada en los últimos 20 años. Un sistema de este tipo es capaz de producir varios productos diferentes al mismo tiempo. Para lograr esto, los sistemas de automatización flexible suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manejo de materiales; además, se tiene una computadora central para controlar todas las actividades que se desarrollan en el sistema.

Una de las características que distingue la automatización programable de la flexible, es que en la automatización programable los productos se

obtienen en lotes para disminuir el tiempo de preparación, lo cual no es necesario en la automatización flexible ya que el tiempo de preparación es mínimo, porque los programas pueden diseñarse fuera de línea y transmitirse electrónicamente cuando se requieran.

Para que los preparativos físicos puedan hacerse rápidamente, es necesario que las partes que se van a procesar tengan características similares para que puedan ser agrupadas en lo que se denomina familia de partes o grupo tecnológico. Una vez definidas las familias de partes que se van a procesar, se puede diseñar el sistema automatizado flexible de tal forma que permita que los tiempos de preparación sean mínimos. Este diseño de los sistemas de automatización flexible, ocasiona que la diversidad de productos que puedan procesarse sea menor que en la automatización programable, pero a cambio de esto, permite disminuir los tiempos de respuesta para procesar los productos.

En la figura 1 se muestra la relación de los tres tipos de automatización como una función del volumen de producción y de la diversidad del producto.

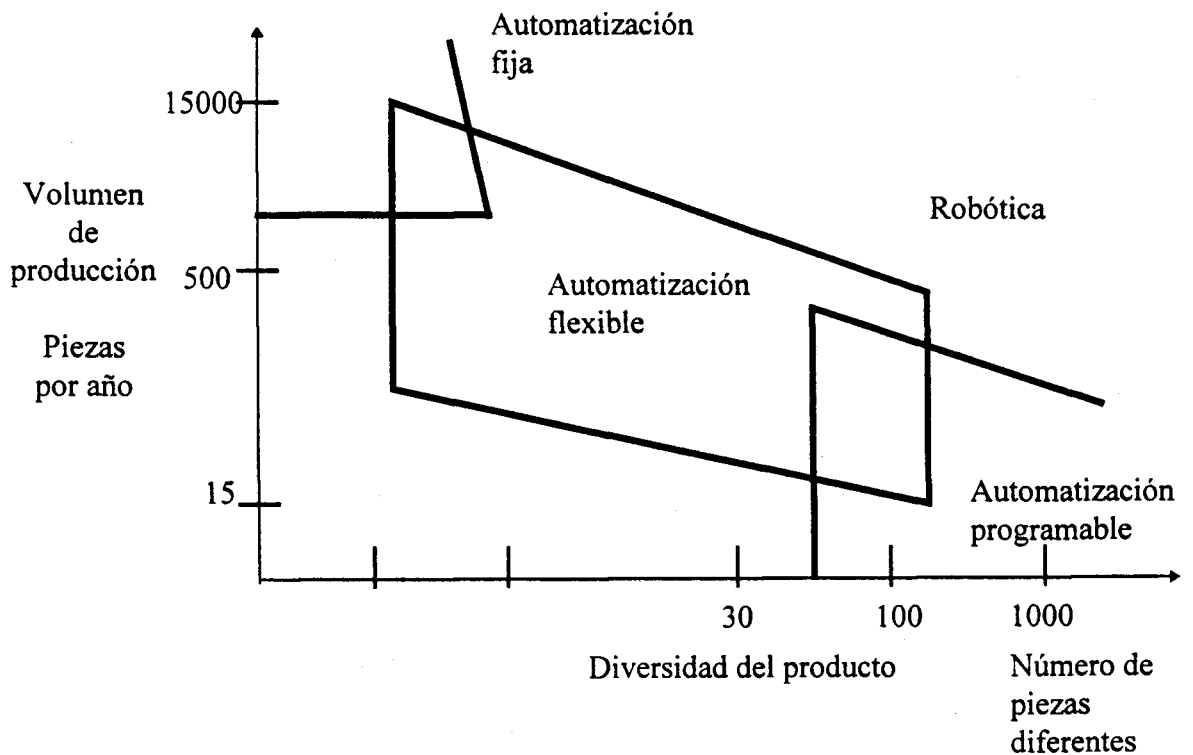


Fig.1 Automatización en función del volumen de Producción y variedad de productos

2.1.2 Tipos de control

En general, en todos los sistemas automatizados se pueden tener dos tipos de control, estos son:

- a). Sistemas servocontrolados o de lazo cerrado (retro-alimentación)
- b). Sistemas no-servocontrolados o de lazo abierto.

2.1.2.1 Sistemas servocontrolados o de lazo cerrado

En este tipo de sistema se tiene un captador o sensor para medir continuamente la señal de salida. Esta señal, se retroalimenta al controlador por medio de un lazo cerrado de retorno. El controlador compara las señales emitidas por el sensor con las señales proporcionadas por la orden original, con el objeto de generar las correcciones necesarias.

2.1.2.2 Sistemas no-servocontrolados o de lazo abierto

Este sistema no dispone de retorno de información y por lo tanto, no puede establecer una comparación entre los valores prescritos y los reales. El controlador simplemente envía una señal de salida a la máquina y ésta reacciona.

2.2 SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA

2.2.1 Definición

Un sistema flexible de manufactura consiste de un grupo de estaciones de trabajo, interconectadas por medio de un sistema automatizado de manejo de materiales y almacenamiento, y controlados por un sistema integrado por computadora, capaz de procesar simultáneamente diferentes tipos de partes (Groover, 1987).

Un sistema flexible de manufactura consiste de un grupo de máquinas de producción programables integradas con equipo automatizado de manejo de materiales y almacenamiento, bajo la dirección de un controlador central computarizado para producir simultáneamente varios tipos de partes, con tasas de producción no uniformes, (Fischer, 1991).

2.2.2 Componentes de un Sistema Flexible de Manufactura

Un Sistema Flexible de manufactura, consta básicamente de tres componentes principales:

1.- Estaciones de trabajo. Dependiendo de la operación que se deba realizar en cada estación, éstas pueden ser muy variadas; pueden consistir de centros de maquinado, máquinas herramienta de control numérico, dispositivos para ensamble, equipo para inspección, laminadoras, maquinaria de propósito especial, Etc.

2.- Sistema automatizado de almacenamiento y manejo de materiales. Se refiere al equipo que se utiliza para el almacenamiento y transportación de partes y subensambles entre las estaciones de procesado.

3.- Sistema de control computarizado. Este sistema se emplea para coordinar las actividades de las estaciones de procesado y el sistema de almacenamiento y manejo de materiales.

Además de los tres componentes anteriores, todo FMS requiere de la intervención humana para poder funcionar. Es necesario programar el equipo automatizado de las estaciones de procesado, programar y operar el sistema de control computarizado, hacer los preparativos necesarios para que el sistema empiece a operar, así como también alimentar la materia prima dentro del sistema y retirar las partes procesadas.

2.2.2.1 Diferencia entre FMS y Celda de manufactura

El término celda de manufactura se puede aplicar en forma muy amplia. Generalmente se emplea para referirse a un grupo de máquinas que procesan una familia de partes. Dichas máquinas pueden ser de operación manual o automatizada, o bien, pueden estar combinadas. La celda de manufactura puede contar con sistema automatizado de almacenamiento y manejo de materiales, pero no es indispensable, y puede estar controlada por una computadora, pero, tampoco es indispensable.

En cambio, el término Sistema flexible de manufactura sólo se puede emplear para referirse a sistemas completamente automatizados; es decir, estaciones de trabajo, manejo de materiales y almacenamiento automatizado, todo controlado por computadora. (Groover, 1987)

2.2.3 Flexibilidad

El significado de flexibilidad que proporciona el Diccionario Enciclopédico Ilustrado Sopena es el siguiente:

"Disposición para ceder o acomodarse fácilmente al dictamen o resolución de otro." (Sopena)

En FMS el término flexibilidad se utiliza para expresar el grado en que el sistema se adapta ya sea a cambios de operación ó a cambios de diseño, por lo que se acostumbra distinguir entre dos tipos de flexibilidad en un FMS, estos son:

- 1).- Flexibilidad de diseño y
- 2).- Flexibilidad de operación.

Existen varios factores que influyen tanto al tipo de flexibilidad como al grado de la misma; estos deben ser evaluados cuidadosamente en la fase de diseño del FMS, ya que un sistema que ha sido diseñado para responder a cambios en el diseño, puede no responder bien a cambios en el programa de producción, y viceversa.

Los factores que se deben de considerar según Gary W. Fischer (Fischer, 1991), son los siguientes:

- Volumen de producción
- Cambios de diseño esperados
- Tolerancia de partes y materiales requeridos
- Tipos y variedad de partes que serán producidos
- Operaciones de manufactura requeridas
- Vida del producto
- Fluctuaciones en programa de producción
- Capital disponible para inversión

La ponderación de cada factor depende de cada empresa en particular.

2.2.4 Tipos de Sistemas Flexibles de Manufactura

Los FMS pueden clasificarse según sea el flujo de las partes a través del sistema en tres tipos básicos: sistema de flujo secuencial, sistema de estación simple y sistema de flujo aleatorio, (Fischer, 1991)

Cada tipo de sistema tiene una diferente capacidad para responder a cambios en el diseño del producto y a cambios en el programa de producción.

2.2.4.1 FMS de flujo secuencial:

Este tipo se caracteriza porque todas las piezas que deben ser procesadas tienen la misma secuencia o trayectoria a través del sistema. Todas las piezas procesadas pertenecen a una familia de partes bien definida; las diferencias geométricas entre las partes son menores y el diseño del producto se considera estable, lo que permite el uso de maquinaria especializada.

Los sistemas de flujo secuencial tienden a responder mejor a cambios operativos que a cambios en el diseño del producto.

2.2.4.2 FMS de estación única:

En este tipo de sistema, las piezas permanecen en una sola estación, es decir, no se desplazan a través del sistema. Para poder procesar las piezas, la estación está equipada con gran variedad de herramientas.

El sistema de estación única puede diseñarse para favorecer la flexibilidad de diseño, o bien, para favorecer la flexibilidad de operación.

2.2.4.3 FMS de flujo aleatorio:

Este sistema es el más apropiado cuando la familia de partes es muy grande, las piezas que serán procesadas son completamente diferentes y la secuencia de operaciones en la que se deben procesar también es distinta. Además, se espera producir nuevos diseños de partes en el sistema, las partes que se producen actualmente están siendo modificadas y el programa de producción cambia de un día para otro.

Para poder acoplarse a todas estas variaciones, el FMS de flujo aleatorio debe estar equipado con maquinaria de uso general.

El grado de flexibilidad de este tipo de sistemas es mayor que en los sistemas de flujo secuencial, pero, para poder balancear el flujo de partes a través del sistema, generalmente es necesario subutilizar el uso del equipo, o agregar más máquinas para evitar operaciones cuellos de botella (Fischer, 1991)

2.2.5 Tipos de configuración en FMS

La configuración de un FMS depende básicamente del sistema de manejo de materiales que utilice.

Todos los FMS que existen actualmente, se pueden clasificar dentro de alguna de las cinco configuraciones siguientes : (Gardner, 1985)

- 1.- En línea
- 2.- Ciclo
- 3.- Escalera
- 4.- Campo abierto
- 5.- Robot Central

2.2.5.1 Configuración en Línea:

Esta configuración, que se muestra en la figura 2(a), es la más apropiada para sistemas de flujo secuencial, donde las piezas avanzan de una

estación de trabajo a la siguiente en una secuencia bien definida. Su operación es muy similar a la de las líneas de transferencia.

En ocasiones, se puede aumentar el grado de flexibilidad de este tipo de sistemas utilizando sistemas de manejo de materiales que permitan el flujo de partes en ambos sentidos. Esto, se ilustra en la figura 2(b), donde se tienen sistemas de manejo secundarios en cada estación.

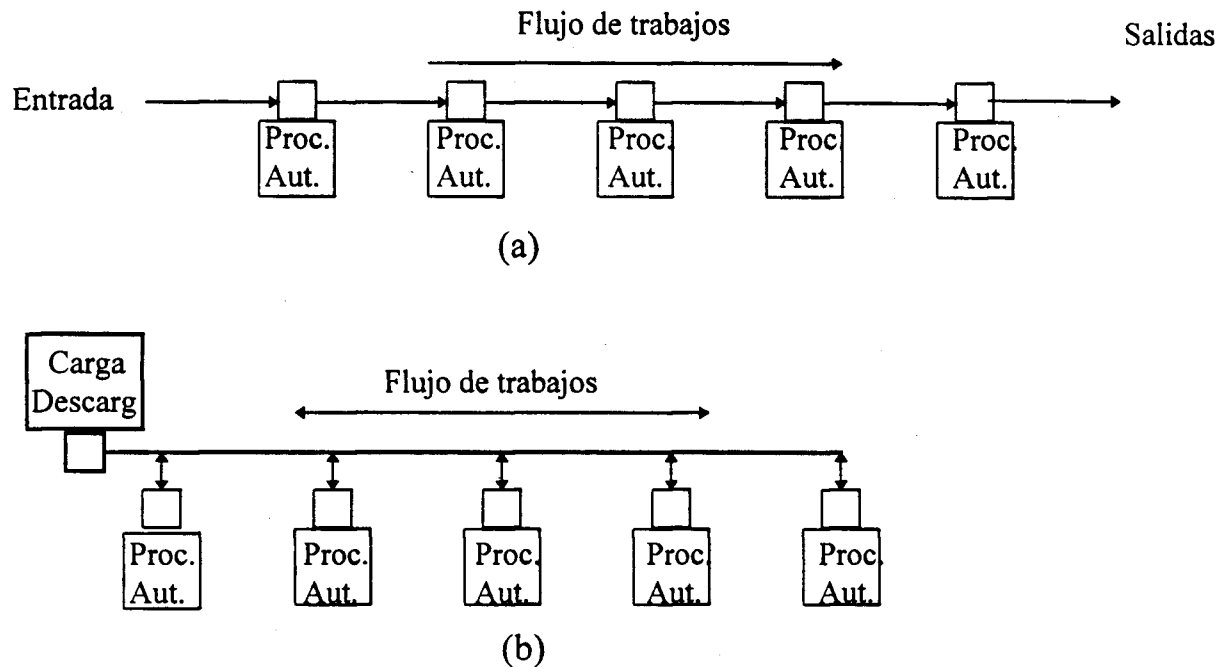


Fig. 2 Configuración en línea de un FMS

2.2.5.2 Configuración en ciclo:

Esta configuración se muestra en la figura 3. Generalmente, las partes fluyen en una sola dirección alrededor del ciclo, y se pueden detener en cualquier estación.

El sistema automatizado de carga y descarga de piezas, se encuentra localizado en un extremo del ciclo, y las estaciones de procesado están ubicadas en los lados externos del ciclo.

En cada estación, se puede tener un sistema de manejo secundario para no obstruir el flujo de las partes alrededor del ciclo.

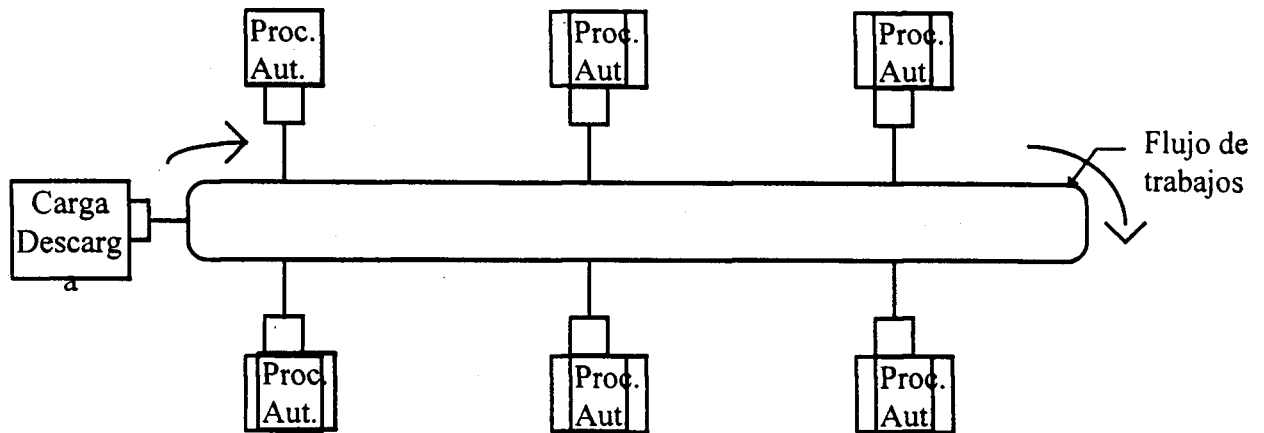


Fig. 3. Configuración en ciclo de un FMS

2.2.5.3 Configuración escalera:

La configuración tipo escalera viene siendo una adaptación de la tipo ciclo.

En la configuración escalera se tienen anillos sobre los que se localizan las estaciones de trabajo.

Los anillos incrementan las opciones para moverse de una estación a otra, reduciendo la distancia promedio de viaje, y por lo tanto, reduciendo el tiempo de transferencia entre estaciones. En la figura 4 aparece una configuración de este tipo.

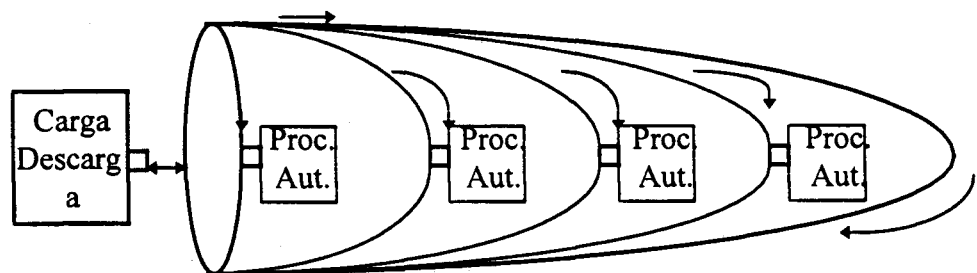


Fig. 4. Configuración en escalera de un FMS

2.2.5.4 Configuración de campo abierto:

Este, también es una adaptación de la configuración tipo ciclo. Consiste de una combinación de ciclos, escaleras y apartaderos que están organizados para alcanzar los requerimientos de producción deseados.

La configuración de campo abierto, generalmente es el más adecuado para procesar familias grandes de partes. Se pueden tener varias máquinas del mismo tipo para permitir secuencias alternativas de procesamiento, dependiendo de la disponibilidad de las mismas.

En la figura 5 aparece una configuración de este tipo.

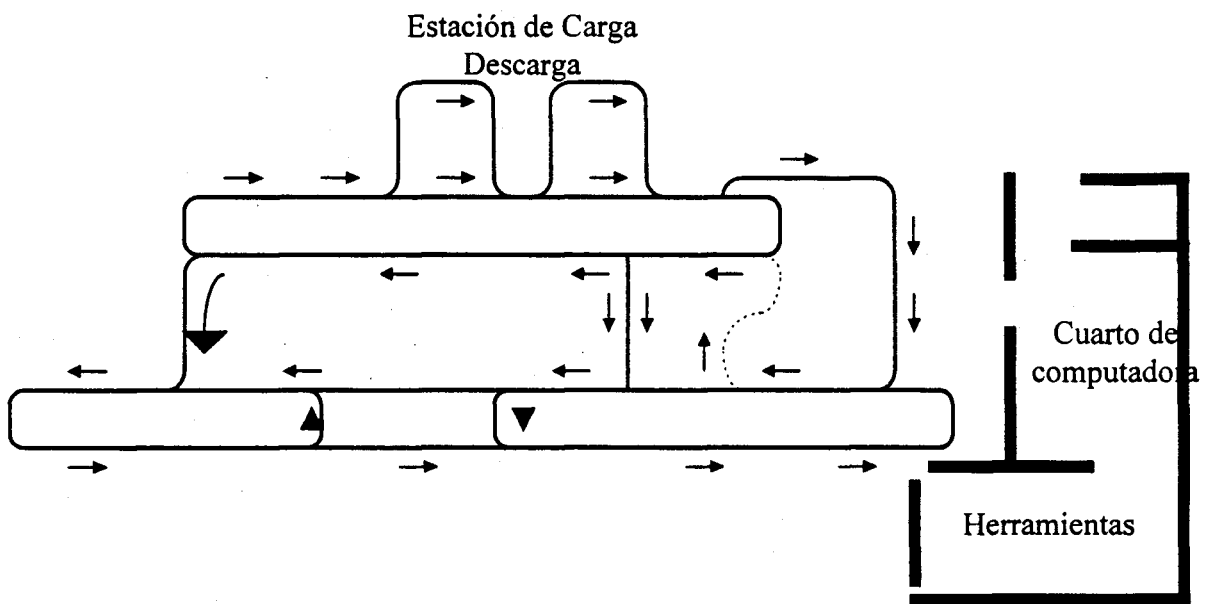


Fig. 5 Configuración de campo abierto de un FMS

2.2.5.5 Configuración de robot central:

En esta configuración, se emplean uno o más robots como sistemas de manejo de materiales, básicamente la función que desempeñan es de carga y descarga de maquinaria.

En la figura 6 se muestra este tipo de configuración.

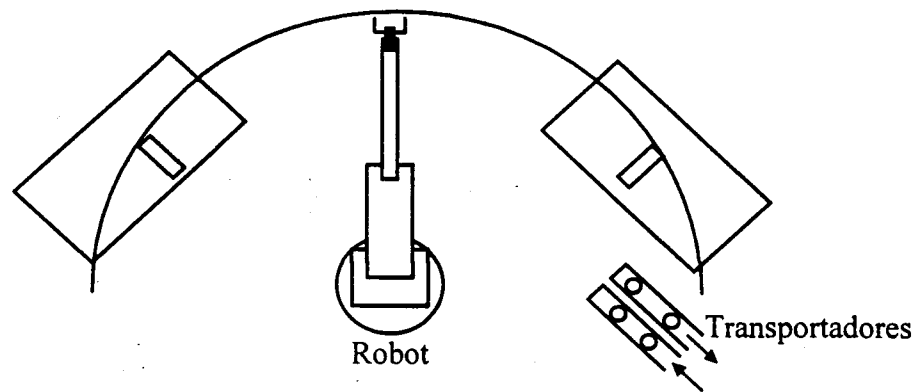


Fig. 6 Configuración de robot central

2.2.6 Areas de aplicación de los FMS

Para los sistemas de producción masiva, las líneas de transferencia representan el métodos más eficiente y económico; sin embargo, éstas tienen la limitante de que no toleran variaciones significativas en la configuración del producto. Un rediseño del producto, puede hacer que el sistema de producción se vuelva obsoleto.

Por otra parte, los sistemas de producción tipo taller se adaptan fácilmente a cambios en el diseño de las partes procesadas, pero tienen tasas de producción muy bajas.

En términos de eficiencia de manufactura y productividad, existe un vacío entre las líneas de transferencia de producción masiva y los sistemas de producción tipo taller. Los FMS fueron creados como una alternativa de solución para llenar este vacío entre los dos extremos. Utilizando tecnologías de automatización se puede tener la flexibilidad operativa de los sistemas de producción tipo taller, con los bajos costos de los sistemas de producción masiva. (Chasse, Aquilano, 1992)

La figura 7 muestra la ubicación de los FMS en relación al volumen de producción y la flexibilidad.

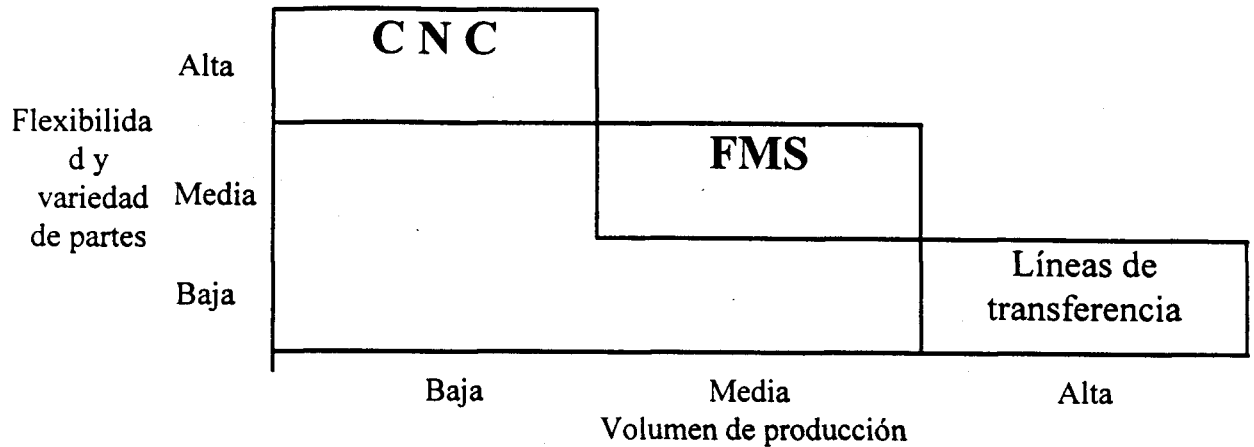


Fig.7 Ubicación de los FMS en relación al volumen de producción y flexibilidad

2.3 CONTROL COMPUTARIZADO DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA

El control computarizado es un elemento clave para la flexibilidad de los FMS, ya que con pequeños cambios en el software se puede lograr que el sistema de manufactura produzca diferentes productos ó diferentes cantidades de los mismos.

Los sistemas de control computarizado que se utilizan en los FMS varían dependiendo de la complejidad del FMS y del grado de integración que se tenga en la planta manufacturera, pero en general, todo sistema de control computarizado posee cierta estructura jerárquica o niveles de control.

2.3.1 Niveles de control.

En un sistema de manufactura flexible completamente integrado se pueden identificar tres niveles de control (Sohoni, 1991)

- 1.- Control Computarizado del centro de trabajo
- 2.- Control Computarizado entre líneas de ensamble principal y subensambles
- 3.- Control Computarizado Supervisor del FMS

El control computarizado supervisor del FMS corresponde al nivel más alto de la jerarquía. En este nivel se analizan las demandas de los diferentes

productos, se diseñan los planes de producción, se analiza la factibilidad de los mismos, se efectúan análisis de capacidad y se crea el programa maestro de producción el cual se envía gradualmente al siguiente nivel de control con el que se tiene comunicación permanente.

En un FMS completamente integrado es muy importante el papel del control computarizado supervisor, ya que éste puede ayudar a la mejor utilización del equipo, lo cual contribuye a que los costos de manufactura sean más competitivos.

El siguiente nivel de la jerarquía de control computarizado, se encuentra entre la línea de ensamble principal y los subensambles, la computadora de este nivel recibe el programa de producción que se le envía del nivel supervisor y lo comunica a las diferentes computadoras de los centro de trabajo, asegurándose que éste se realice. Cuando el proceso de manufactura no es muy complejo, este nivel se puede omitir.

El nivel inferior de la jerarquía de control computarizado de un FMS corresponde al control computarizado del centro de trabajo o control de operaciones del piso de manufactura.

La computadora del centro de trabajo es la responsable de hacer que el FMS produzca físicamente las partes que se le solicitan.

En la figura 8 aparece un resumen de las funciones de control correspondientes a los tres niveles de la estructura jerárquica de control computarizado de un FMS.

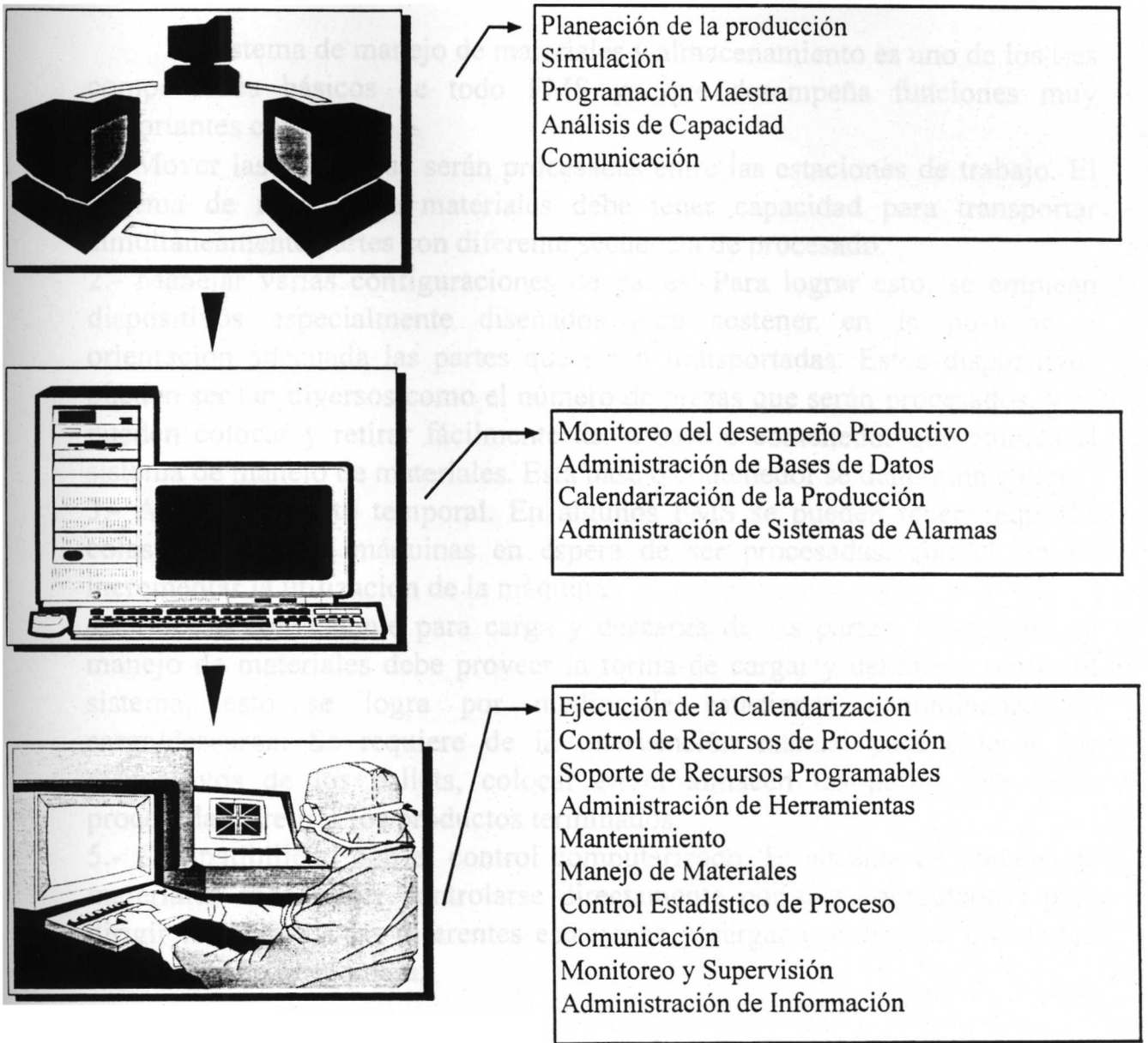


Fig. 8 Funciones de control computarizado de un FMS

2.4 SISTEMAS DE MANEJO DE MATERIALES Y ALMACENAMIENTO

El sistema de manejo de materiales y almacenamiento es uno de los tres componentes básicos de todo FMS ya que desempeña funciones muy importantes como son:

- 1.- Mover las partes que serán procesadas entre las estaciones de trabajo. El sistema de manejo de materiales debe tener capacidad para transportar simultáneamente partes con diferente secuencia de procesado.
- 2.- Manejar varias configuraciones de partes. Para lograr esto, se emplean dispositivos especialmente diseñados para sostener en la posición y orientación adecuada las partes que serán transportadas. Estos dispositivos pueden ser tan diversos como el número de piezas que serán procesados, y se pueden colocar y retirar fácilmente de la base o contenedor que emplea el sistema de manejo de materiales. Esta base o contenedor se denomina pallet.
- 3.- Almacenamiento temporal. En algunos FMS se pueden tener pequeñas colas frente a las máquinas en espera de ser procesadas, con el fin de incrementar la utilización de la máquina.
- 4.- Acceso conveniente para carga y descarga de las partes. El sistema de manejo de materiales debe proveer la forma de cargar y descargar partes al sistema, esto se logra por medio de estaciones denominadas de carga/descarga. Se requiere de la intervención manual para colocar los dispositivos de los pallets, colocar en el almacén las partes que serán procesadas y retirar los productos terminados.
- 5.- Compatibilidad con el control computarizado. El sistema de manejo de materiales debe poder controlarse directamente por una computadora para dirigir las partes a las diferentes estaciones y cargar o descargar piezas del sistema según se requiera.

2.4.1 Equipo utilizado en los sistemas de manejo de materiales

Existe gran variedad de equipo disponible para utilizarse en los sistemas de manejo de materiales, dependiendo de sus características, este equipo puede dividirse en seis categorías, (Kulwiec, 1985):

- 1.- Transportadores manuales
- 2.- Transportadores impulsados
- 3.- Grúas, monorrieles y montacargas

- 4.- Transportadores
- 5.- Sistema de vehículo guiado automáticamente (AGVS)
- 6.- Otros equipos de manejo

En los FMS se utilizan equipos de las categorías 4, 5 y algunos de la categoría 6 como sistemas de manejo de materiales, por lo que se describirán un poco más ampliamente.

2.4.1.1 Transportadores

Este tipo de equipo se emplea por lo general, cuando se deben mover cantidades relativamente grandes entre puntos que están ubicados sobre una trayectoria fija.

Algunos transportadores emplean la gravedad para mover las partes de un punto elevado a otro con menor altura, pero, la mayoría son impulsados mediante algún mecanismo.

Existen diversos tipos de transportadores, tales como: rodillos, cadena, banda, Etc., pero, cualquiera que sea su tipo, todos los sistemas de manejo de materiales que utilizan transportadores tienen las siguientes características:

- Pueden ser mecanizados o automatizados
- Tienen una posición fija en el sistema
- Pueden estar montados en el piso ó en el techo
- La mayoría limita el flujo de materiales a una sola dirección
- Generalmente mueven unidades discretas, pero ciertos tipos se pueden usar para mover lotes o cargas continuas
- Pueden usarse sólo para transportar ó bien, para transportar y almacenar partes

2.4.1.2 Sistema de vehículo guiado automáticamente (AGVS)

El sistema de manejo de materiales con AGVS utiliza un vehículo autoimpulsado que es guiado a lo largo de una trayectoria definida en el piso. El vehículo, generalmente se impulsa por medio de baterías que permiten la operación por varias horas. Para guiarlo se emplea cableado o pintura reflectiva en el piso.

2.4.2. Análisis del sistema de manejo de materiales.

Aunque la mayoría de los sistemas de manejo de materiales no manejan materiales, sino que mueven, almacenan y controlan recipientes; la planeación de este sistema, generalmente empieza con un análisis de características de los materiales que serán transportados, tales como: tamaño,

peso, forma, estado físico, riesgos posibles, etc. Además de estas características existen otros factores importantes como son: cantidad de material que será transportado, tasa de flujo requerida, secuencias de movimientos, ruta a través de la cual se harán los movimientos, Etc.

Existen diversas técnicas de análisis que permiten hacer el diseño más adecuado para cada sistema de producción, éstas se deben aplicar en la fase inicial de planeación, ya que el sistema de manejo de materiales tiene un fuerte impacto en el desempeño productivo del sistema.

En el caso de los FMS, el sistema de manejo de materiales es el que define la configuración del sistema, además, afecta considerablemente al grado y tipo de flexibilidad que éste posee.

2.4.3 Sistema de almacenamiento

El objetivo de todo sistema de almacenamiento es el de guardar materiales por cierto período de tiempo; el tipo de materiales que se requiere guardar es muy variable: materias primas que serán procesadas, partes compradas para ensambles, productos terminados, herramientas, etc.

En los FMS el almacenamiento siempre es de tipo automatizado y se le denomina sistema automatizado de carga/descarga ó AS/RS por sus siglas en inglés (Automated Storage/Retrieval Systems).

2.4.4 Sistema automatizado de carga/descarga (AS/RS)

El Instituto de Manejo de Materiales (Material Handling Institute, 1977), define el sistema automatizado de carga/descarga de la siguiente manera:

"Es una combinación de equipo y controles, a través de los cuales se manejan, guardan y retiran materiales con precisión, exactitud y velocidad bajo un grado definido de automatización."

Los AS/RS se planean y diseñan para cada aplicación en particular, y pueden variar desde un pequeño sistema mecanizado que se controla manualmente, hasta un gran sistema de control computarizado que integre completamente las operaciones de almacenamiento con la fábrica.

2.4.4.1 Componentes básicos.

Aunque existen diversos tipos de AS/RS dependiendo de las características del equipo que lo integre, todos tienen cuatro componentes fundamentales:

- 1.- Estructura para almacenamiento
- 2.- Mecanismo para carga/descarga (S/R)
- 3.- Módulos de almacenamiento
- 4.- Estaciones para levantar y depositar (P&D)

2.4.4.1.1 Estructura para almacenamiento

La estructura para almacenamiento debe ser rígida y fuerte para soportar el peso de las partes y materiales contenidos en el AS/RS y los esfuerzos del mecanismo de carga/descarga que generalmente está soportado en ella. Esta estructura está dividida en compartimientos que están diseñados para guardar de forma individual los módulos de almacenamiento.

2.4.4.1.2 Mecanismo de carga/descarga

El mecanismo de carga/descarga (en ocasiones se le denomina grúa), se emplea para realizar las transacciones entre el almacén y la estación P&D. Estas transacciones consisten en levantar una carga de la estación y colocarla dentro del almacén, o bien, retirar una carga del almacén y colocarla sobre la estación.

Para poder realizar estas operaciones, el mecanismo de carga/descarga o grúa se debe desplazar horizontal y verticalmente para posicionarse en cualquier compartimiento de la estructura de almacenamiento, además, debe ser capaz de efectuar movimientos para retirar ó colocar los módulos de almacenamiento tanto en los compartimientos del almacén, como en la estación de levantar y depositar (P&D).

Todos los movimientos anteriores, se pueden lograr con tres sistemas de manejo: horizontal, vertical, y posicionador.

2.4.4.1.3 Módulos de almacenamiento

Los módulos de almacenamiento son los contenedores del material almacenado, pueden ser recipientes, pallets o algún otro, depende del material que se almacene. Los módulos de almacenamiento que se utilicen deben tener una base estandarizada para permitir su manipulación por el mecanismo de carga/descarga y facilitar su almacenamiento en la estructura.

2.4.4.1.4 Estación para levantar y depositar (P&D)

Esta estación se utiliza para transferir las cargas (partes) hacia y desde el AS/RS.

Generalmente, se localiza en un extremo de la estructura de almacenamiento del AS/RS para poder ser accesada por el mecanismo de carga/descarga y el sistema de manejo de materiales.

2.5 ROBÓTICA INDUSTRIAL

Los robots industriales son máquinas programables de uso general, que poseen ciertas características antropomórficas, como las siguientes: un brazo mecánico con el que pueden desarrollar varias tareas industriales, capacidad de responder a señales y comunicarse con otras máquinas, y en algunos casos, capacidad para tomar decisiones.

2.5.1 Definición

La definición de robot industrial proporcionada por la Robotic Industries Association (RIA) es la siguiente:

"Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados variables para la ejecución de una diversidad de tareas"(Groover, Weiss, Nagel, Odrey, 1986)

2.5.2 Anatomía y configuración de los robot

La anatomía del robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. Todos los robots están formados por una serie de articulaciones y partes rígidas; las articulaciones son similares a las del cuerpo humano y proveen movimiento relativo entre las partes rígidas denominadas uniones. Cada articulación provee al robot de un movimiento relativo el cual se denomina grado de libertad.

2.5.2.1 Configuraciones de los robots

Existe una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas en los robots industriales, (Groover, Weiss, Nagel y Odrey, 1986), pero, la mayoría puede clasificarse dentro de las siguientes:

- 1.- Configuración polar o esférica
- 2.- Configuración cilíndrica
- 3.- Configuración de coordenadas cartesianas o rectangulares
- 4.- Configuración de brazo articulado
- 5.- Configuración SCARA

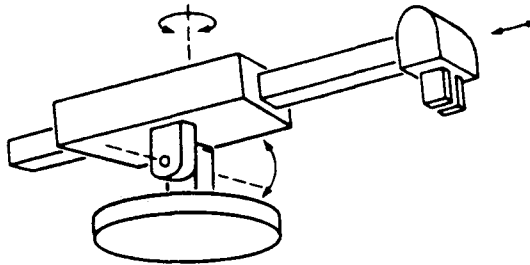


Fig. 9 Configuración polar

2.5.2.1.1 Configuración polar

Esta configuración se muestra en la figura 9 utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar alrededor de un pivote horizontal. Este pivote está montado sobre una base giratoria.

Las diversas articulaciones que posee esta configuración proporcionan al robot capacidad de desplazar su brazo dentro de un espacio esférico.

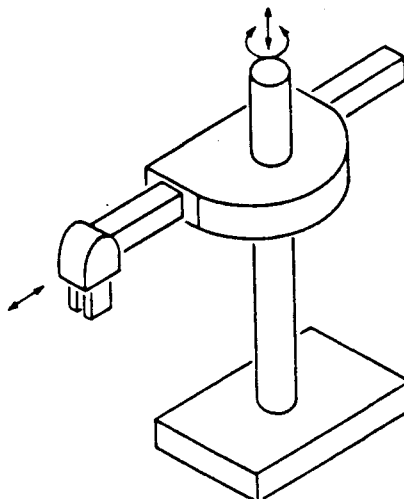


Fig. 10 Configuración cilíndrica

2.5.2.1.2 Configuración cilíndrica

Esta configuración se muestra en la figura 10 utiliza una columna vertical y un dispositivo de deslizamiento que puede moverse hacia arriba o abajo a lo largo de la columna. El brazo del robot está unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial respecto a la columna.

Al hacer girar la columna, el robot es capaz de conseguir un espacio de trabajo que se aproxima a un cilindro.

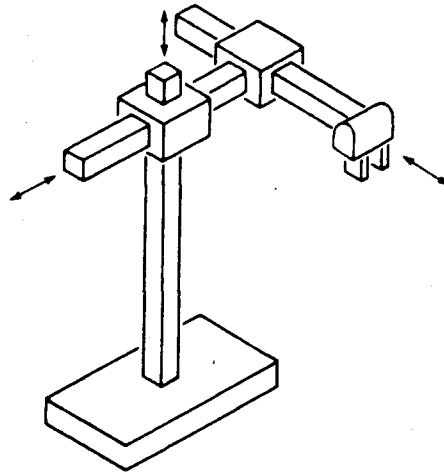


Fig. 11 Configuración cartesiana

2.5.2.1.3 Configuración cartesiana

Esta configuración también se conoce como rectangular o xyz. Como se muestra en la figura 11, utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes x, y, z. Desplazando los tres dispositivos deslizantes entre sí, el robot es capaz de operar dentro de un espacio rectangular.

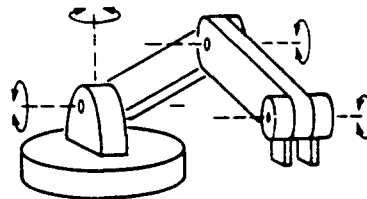


Fig.12 Configuración de brazo articulado

2.5.2.1.4 Configuración de brazo articulado

En la figura 12, aparece esta configuración. Como puede observarse, es similar a la del brazo humano. Está constituido por dos componentes rectos montados sobre un pedestal vertical. Estos componentes están unidos por dos articulaciones giratorias que corresponden al hombro y al codo humanos; los componentes rectos equivalen al antebrazo y brazo. En el extremo del antebrazo se tienen varias articulaciones suplementarias que hacen las veces de muñeca.

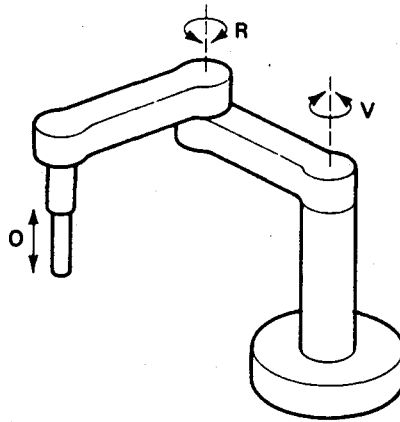


Fig. 13 Configuración SCARA

2.5.2.1.5 Configuración SCARA

El nombre de esta configuración es la abreviatura de Selective Compliance Assembly Robot Arm. Como puede apreciarse en la figura 13, esta configuración es similar a la de brazo articulado excepto que sus articulaciones de hombro y codo giran alrededor de ejes verticales, y no posee las articulaciones equivalentes a la muñeca. Esto le proporciona una importante rigidez en la dirección vertical, pero elasticidad en la dirección horizontal.

Esta configuración se emplea para tareas de inserción ó montaje vertical, es decir, colocar las piezas de arriba hacia abajo.

Cada una de las configuraciones anteriores tiene sus ventajas e inconvenientes, simplemente debido a su geometría. En términos de repetibilidad de movimiento, es decir la capacidad que tiene el robot para desplazarse a un punto determinado del espacio con un error mínimo, es

probable que tengan ventaja el robot cartesiano ó el de configuración SCARA, debido a su estructura inherentemente rígida. En términos de alcance, (capacidad del robot para extender su brazo significativamente más allá de su base), las configuraciones polar y de brazo articulado tienen ventaja. Para las aplicaciones de carga de máquinas, es importante que el robot tenga capacidad para penetrar por una pequeña abertura y maniobrar para colocar la pieza; las configuraciones SCARA y cartesiana tienen desventaja geométrica natural. Si lo que se requiere es gran capacidad de transporte de carga, la configuración cilíndrica y la cartesiana pueden ser las más adecuadas.

2.5.3 Movimientos del robot

Todos los robots industriales están diseñados para realizar algún trabajo productivo. Para poder desempeñar cualquier tarea específica, el robot debe tener capacidad de efectuar una serie de movimientos que le permitan posicionarse.

Los movimientos del robot pueden dividirse en dos categorías generales: movimientos de brazo y cuerpo y movimientos de la muñeca. Los movimientos del brazo y cuerpo, generalmente están asociados con la acción de tres articulaciones, y la muñeca está asociada con la acción de dos o tres articulaciones. Como se mencionó anteriormente en la sección 2.5.2, los movimientos relativos de cada articulación se denominan grados de libertad.

Las articulaciones utilizadas en el diseño de los robots industriales implican el movimiento relativo de las partes rígidas o uniones contiguas; este movimiento puede ser lineal o rotacional. Según sea el tipo de movimiento que proporcionan, se puede clasificar a las articulaciones en cinco tipos diferentes, (Groover, 1987) los cuales se ilustran en la figura 14.

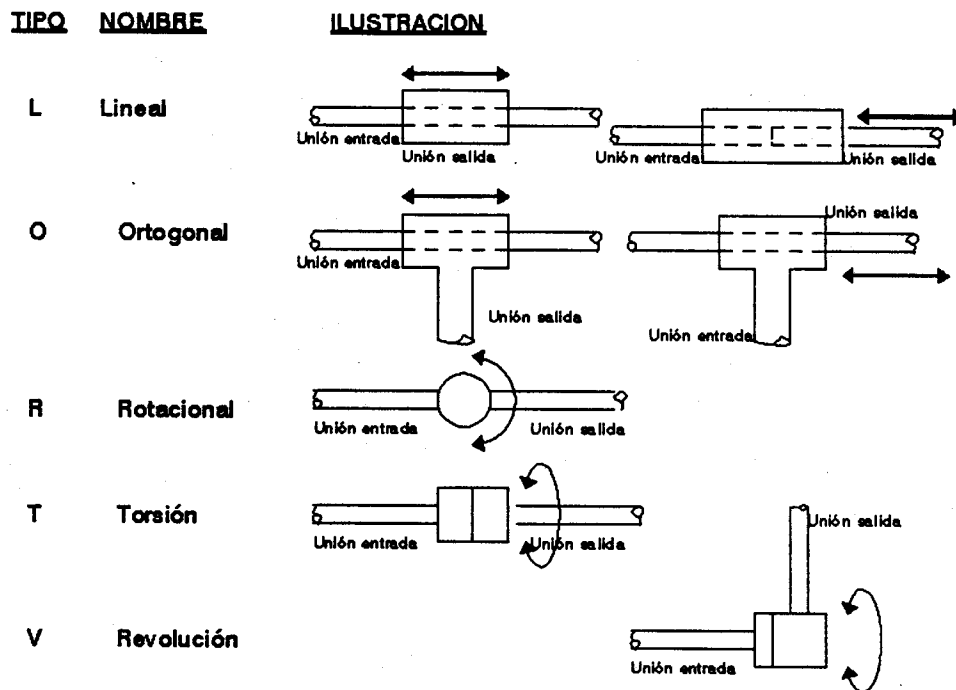


Fig. 14 Tipos de articulaciones en los robot

2.5.3.1 Articulación lineal

Implica un movimiento deslizante o de traslación de las uniones de conexión, el eje de movimiento es paralelo a las dos uniones. Este tipo de articulación suele denominarse tipo L

2.5.3.2 Articulación ortogonal

También es un movimiento lineal, pero las uniones de conexión son perpendiculares entre sí. Esta articulación se denomina con la letra O.

2.5.3.3 Articulación rotacional

Provee movimiento relativo rotacional, el eje de rotación es perpendicular a las dos uniones. Esta tipo de articulación se denomina con la letra R.

2.5.3.4 Articulación de torsión

También implica un movimiento rotacional, sólo que el eje de movimiento es paralelo a las dos uniones. Se denomina articulación tipo T.

2.5.3.5 Articulación revolución

Provee movimiento relativo rotacional, pero en este caso, las uniones se encuentran perpendiculares entre sí, y el eje de movimiento es paralelo a una de ellas. Se denomina articulación tipo V.

Cada una de las articulaciones anteriores, tiene cierto rango de operación, dependiendo de las características mecánicas, una articulación

lineal puede desplazarse desde varias pulgadas, hasta varios pies. Las articulaciones que involucran movimiento rotacional, pueden girar desde unos cuantos grados, hasta varias vueltas completas.

Combinando los cinco tipos de articulaciones, se pueden diseñar muchos robots distintos, por ejemplo: para un robot con 3 grados de libertad se pueden tener $5 \times 5 \times 5 = 125$ combinaciones diferentes de articulaciones.

2.5.3.6 Plan de notaciones de las articulaciones

Se pueden utilizar los símbolos correspondientes a cada tipo de articulación para describir la configuración física del robot. Primero se consideran las articulaciones del brazo y del cuerpo, empezando por la que se encuentra más próxima a la base hasta llegar a la muñeca.

Las notaciones típicas para las cinco configuraciones de robot, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1 :

<u>Configuración de brazo y cuerpo</u>	<u>Símbolo</u>
Polar	TRL
Cilíndrica	TLL, LTL, LVL
Cartesiana	LLL
Brazo Articulado	TRR, VVR
SCARA	VRO
<u>Configuración de la muñeca</u>	<u>Símbolo</u>
Muñeca de dos ejes	:RT
Muñeca de tres ejes	:TRT

Tabla 1. Plan de notaciones para designar las configuraciones de los robots

2.5.4 Volumen de trabajo

Este término, se refiere al espacio dentro del cual el robot puede manipular el extremo de su muñeca.

Es importante considerar que en esta definición de volumen de trabajo no se incluye el efector final; esto se hace para evitar complicaciones de diferentes tamaños de efectores finales.

El volumen de trabajo está determinado por el número y tipo de articulaciones del robot, el rango de movimiento de las mismas, y el tamaño de los componentes del cuerpo, brazo y muñeca.

La configuración física del robot influye sobre la forma del volumen de trabajo, así, un robot de coordenadas polares tiene un volumen de trabajo que es una esfera parcial, un robot de coordenadas cilíndricas tiene un volumen cilíndrico, un robot de coordenadas cartesianas tiene un espacio de trabajo de forma rectangular.

2.5.5 Capacidad de transporte de carga

La capacidad de transporte de carga del robot está determinada por varios factores: tamaño, configuración, construcción, y sistema de impulsión. Esta capacidad debe especificarse considerando la posición más débil del robot, y puede variar desde algunos gramos para robots pequeños, hasta toneladas para robots muy grandes.

La especificación que proporcionan los fabricantes con respecto a esta característica de los robots, se refiere a la capacidad de peso bruto, sin considerar el peso del efector final, ya que este puede ser muy variable.

2.5.6 Velocidad de respuesta y estabilidad

La velocidad de respuesta se refiere a la capacidad del robot para desplazarse a la siguiente posición en un breve período de tiempo. Esta velocidad de respuesta depende de las características físicas del robot y del sistema de control.

La velocidad de movimiento de un robot se mide en el extremo de su muñeca, en consecuencia, las más altas velocidades se alcanzan con el brazo del robot extendido a su distancia máxima del eje vertical. Actualmente, las mayores velocidades, corresponden a robots grandes de tipo hidráulico, y llegan hasta los 2 metros/segundo.

La velocidad del robot influye significativamente en la determinación del tiempo de ciclo, por lo que suele ser deseable que el robot funcione a una alta velocidad para disminuir el tiempo de ciclo, sin embargo existen otros factores que también se deben considerar para determinar la velocidad óptima de operación. Estos factores son:

- La exactitud con la que se debe posicionar el efector final
- El peso del objeto que se manipula
- La distancia a recorrer.

Por lo general, existe una relación inversa entre la exactitud y la velocidad de los movimientos del robot; cuando se requiere aumentar la

exactitud, el robot necesita más tiempo para conseguir la posición final deseada. El peso del objeto desplazado también influye sobre la velocidad operativa; ya que objetos más pesados significan mayor inercia y cantidad de movimiento, por lo que el robot debe accionarse mas lentamente para poder considerar con seguridad estos factores. La distancia a recorrer también influye en la velocidad óptima debido a problemas de aceleración y desaceleración; un robot es capaz de desplazarse en una distancia larga en menos tiempo que una secuencia de distancias cortas cuya suma sea igual a la distancia larga. Las distancias muy cortas no permiten que el robot alcance la velocidad operativa programada.

La estabilidad del robot se define como una medida de las oscilaciones que se producen en el brazo durante el movimiento desde una posición a la siguiente. Un robot con buena estabilidad presentará poca o ninguna oscilación durante el movimiento o fin del movimiento de su brazo, en cambio, un robot con estabilidad deficiente presentará gran cantidad de oscilación.

Lo deseable sería desde luego tener una robot con gran estabilidad y además con una alta velocidad de respuesta, sin embargo, lamentablemente, estos dos objetivos son hasta cierto punto incompatibles.

En la figura 15 se ilustra el concepto de velocidad de respuesta y estabilidad. Con la amortiguación de nivel bajo, (figura 15a), el brazo del robot se desplaza con rapidez a la posición programada, pero presenta gran oscilación en la posición final, lo cual significa poca estabilidad. Cuando se mejora la estabilidad incorporando gran cantidad de amortiguación al sistema, (figura 15b) el movimiento del brazo a la posición deseada es muy lento, pero no hay ningún movimiento oscilatorio en la posición final.

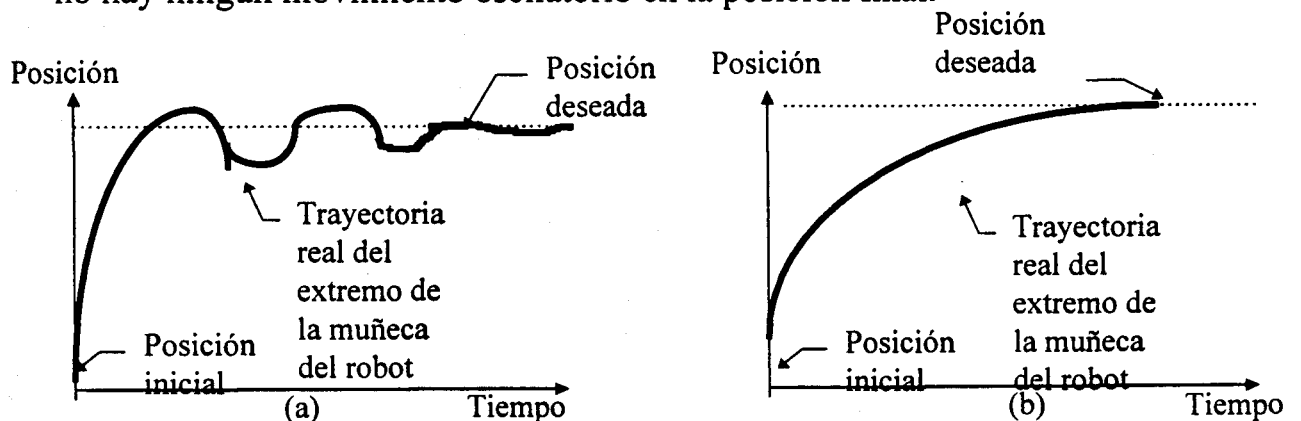


Fig. 15 Velocidad de respuesta y estabilidad en robots

2.5.7 Precisión de Movimiento

Otra medida importante del rendimiento de un robot, es su precisión de movimiento. La precisión de movimiento depende de tres características:

- 1.- Resolución espacial
- 2.- Exactitud
- 3.- Repetibilidad

Las especificaciones que proporcionan los fabricantes de robots comerciales respecto a estas características, están definidas bajo ciertas condiciones. En primer lugar, las definiciones se aplican al extremo de la muñeca del robot sin ningún efector colocado. En segundo lugar, los términos se aplican a las condiciones más desfavorables, bajo las cuales la precisión sería la peor posible. Además, con el fin de simplificar la definición de las diversas características de precisión, se considera un contexto estático, es decir, el movimiento de un robot punto a punto.

2.5.7.1 Resolución espacial

La resolución espacial de un robot se define como el más pequeño incremento de movimiento en el que se puede dividir el volumen de trabajo del robot. La resolución espacial depende de la resolución del control del sistema y de las inexactitudes del sistema mecánico del robot.

La resolución de control es la capacidad del controlador para dividir el margen total de movimiento en incrementos que puedan ser identificados por el controlador. Estos incrementos, se denominan puntos direccionables. La capacidad para dividir el margen de movimiento en puntos direccionables, depende de la capacidad de almacenamiento en bits de la memoria del controlador.

Si n es el número de bits en la memoria de control, el número de incrementos o puntos direccionables dentro del rango de movimiento de un eje en particular está dado por:

$$\text{Número de incrementos} = 2^n$$

La resolución de control estaría definida por lo tanto, como la distancia entre dos puntos direccionables adyacentes; y puede determinarse dividiendo el rango de movimiento de la articulación entre el número de incrementos.

$$\text{Resolución de control} = \text{Rango de la articulación} / 2^n$$

La ecuación anterior se refiere a sólo una articulación. Un robot con varios grados de libertad tendría una resolución de control para cada articulación de movimiento. Para obtener la resolución de control del robot

completo tendrían que sumarse en forma vectorial las resoluciones de cada articulación; en ocasiones, puede resultar complicado la determinación de esta magnitud ya que se pueden tener articulaciones de muy diversos tipos.

La resolución espacial no sólo depende de la resolución de control, ya que también está afectada por las inexactitudes mecánicas en los componentes de las uniones y articulaciones del robot y su sistema de medida de retroalimentación (si se trata de un robot servocontrolado). Las inexactitudes generalmente se deben a la desviación elástica en los miembros estructurales: holgura de engranes, tensión de cadenas, poleas, fugas de fluidos hidráulicos y otras imperfecciones en el sistema mecánico; las cuales a su vez están influenciadas por otros factores, tales como carga que se manipula, velocidad de desplazamiento, condiciones de mantenimiento, Etc.

Si todas las inexactitudes mecánicas se representan como una distribución normal, la resolución espacial (RE) se puede expresar en función de la resolución de control (RC) y la desviación estándar de la distribución de los errores mecánicos de la forma siguiente:

$$RE = RC + 6(\text{Desv. Std. de err. mec.})$$

En la figura 16(a) se ilustra la resolución espacial cuando se supone que las inexactitudes mecánicas son nulas y la figura 16(b) ilustra el caso en que las inexactitudes sí existen y se representan con una distribución normal.

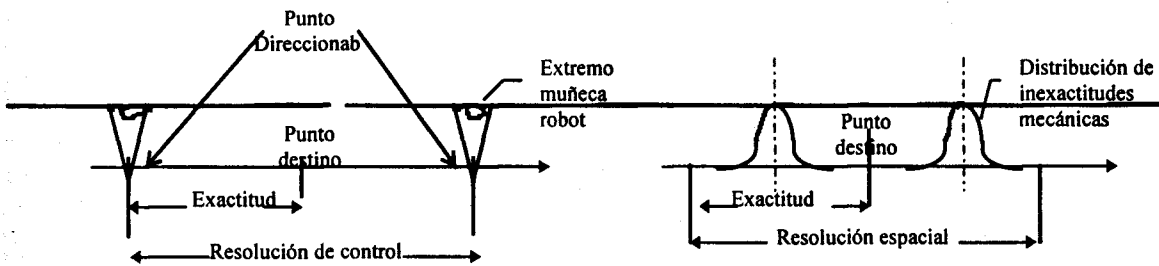


Fig. 16 Resolución espacial de un robot

La resolución espacial del robot puede mejorarse incrementando la capacidad en bits de la memoria de control; sin embargo, se alcanza un punto en el cual el aumento de la capacidad en bits no proporciona gran beneficio porque las inexactitudes mecánicas del sistema llegan a ser el componente dominante en la resolución espacial.

2.5.7.2 Exactitud

La exactitud de un robot se define como la capacidad de éste para situar el extremo de su muñeca en un punto de destino deseado dentro de su volumen de trabajo.

La exactitud también puede definirse en términos de resolución espacial, porque la capacidad de un robot de alcanzar un punto de destino determinado depende de que tan próximos pueda definir los incrementos o puntos direccionables para cada una de sus articulaciones. En el caso más desfavorable, que es el que se emplea para definir ésta característica, el punto destino estaría exactamente entre dos incrementos de control adyacentes. Esto puede apreciarse en la figura 16 .

Por lo anterior, la exactitud se define como la mitad de la resolución espacial del robot, y por simplicidad, se supone que es la misma en cualquier lugar del volumen de trabajo del robot.

$$\text{Exactitud} = \text{Resolución espacial} / 2$$

2.5.7.3 Repetibilidad

La repetibilidad de un robot es la capacidad que éste tiene para posicionar el extremo de su muñeca en un punto que se le haya enseñado con anterioridad dentro de su volumen de trabajo . Cada vez que el robot intente regresar a un punto programado, lo hará ligeramente desviado a causa de los errores de repetibilidad. Estos errores de repetibilidad, son provocados principalmente por inexactitudes mecánicas, y se pueden expresar con la siguiente relación:

$$\text{Repetibilidad} = \pm (3 \text{ desv.std. de err.mec.})$$

La exactitud y la repetibilidad se refieren a dos aspectos diferentes de la precisión del robot. La exactitud se relaciona con la capacidad del controlador del robot para conseguir un punto destino deseado; y la repetibilidad se relaciona con la capacidad mecánica del robot para volver al punto programado cuando se le ordena que lo haga. En la figura 17 se ilustran estos conceptos.

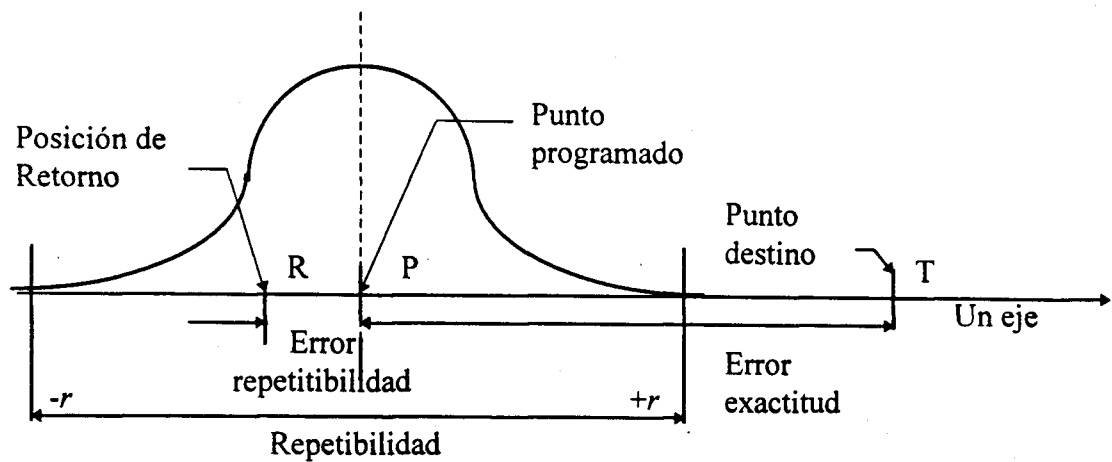


Fig. 17. Repetibilidad y exactitud de un robot

2.5.8 Sistemas de impulsión del robot

El sistema de impulsión es el que proporciona al robot la capacidad para accionar sus miembros y efectuar movimientos. Este sistema, es el que determina la velocidad de los movimientos, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico.

Los sistemas de impulsión que más se utilizan en los robots industriales son:

- 1.- Sistema de impulsión eléctrica
- 2.- Sistema de impulsión hidráulica
- 3.- Sistema de impulsión neumática

Los sistemas de impulsión eléctrica utilizan motores paso a paso o servomotores de corriente continua; en comparación con los otros sistemas de impulsión, suelen ser mejores en cuanto a exactitud y repetibilidad, pero están en desventaja en cuanto a velocidad y resistencia mecánica. En consecuencia, los robots eléctricos tienden a ser pequeños, con menos exigencias de espacio y sus aplicaciones se enfocan hacia trabajos de precisión, por ejemplo el montaje.

Los sistemas de impulsión hidráulica, generalmente se emplean en robots grandes; sus principales ventajas respecto a los otros sistemas de impulsión son: la resistencia mecánica y velocidad mayor. Los principales inconvenientes del sistema de impulsión hidráulica radican en su necesidad de un espacio mayor, y en que este sistema es propenso a las fugas de aceite.

El sistema de impulsión neumática suele reservarse para robots mas pequeños con menos grados de libertad, los cuales se utilizan para

operaciones sencillas de transferencia de material, tales como coger y situar con ciclos rápidos.

En la tabla 2 se resumen las principales ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de impulsión de los robots.

Tabla 2

Sistema de impulsión	Exactitud y repetibilidad	Velocidad	Resistencia	Tamaño	Aplicación
Eléctrica	V	D	D	Pequeño	Montajes de precisión
Hidráulica	D	V	V	Grande	Trabajo Pesado
Neumática	D	M	M	Pequeño	Operaciones Sencillas

D.- Desventaja relativa

V.- Ventaja

M.- Media

Tabla 2. Ventajas y desventajas relativas de los sistemas de impulsión

En general, existe una tendencia a utilizar el sistema de impulsión eléctrica en los robots comerciales, ya que además de las ventajas mencionadas, este sistema se adapta mejor al control computarizado que es el que predomina actualmente.

2.5.9 Sistemas de control del robot

El sistema de control del robot, es el medio a través del cual el robot controla su sistema impulsor para poder regular sus movimientos.

Los sistemas de control que se utilizan en los robots industriales, pueden ser de muy diversos tipos, (Groover, Weiss, Nagel, Odrey, 1986) según sea su nivel de sofisticación, éstos se pueden clasificar dentro de las siguientes cuatro categorías:

- 1.- Robot de secuencia limitada
- 2.- Robot de reproducción con control punto a punto
- 3.- Robot de reproducción con control de recorrido continuo

4.- Robots inteligentes

De las cuatro categorías, los robots de secuencia limitada representan el sistema de control de nivel más bajo, y los robots inteligentes el más sofisticado.

2.5.9.1 Robots de secuencia limitada

Los robots dentro de esta categoría no utilizan servocontrol para indicar las posiciones relativas de las articulaciones; generalmente emplean topes mecánicos o interruptores de fin de carrera para cada una de sus articulaciones. Con este método de control, las articulaciones sólo pueden desplazarse a sus límites de desplazamiento extremos, lo cual limita severamente el número de puntos distintos que pueden especificarse en un programa; por lo tanto, se utilizan para ciclos de movimientos muy sencillos, tales como operaciones de coger y situar.

2.5.9.2 Robots de reproducción con control punto a punto

El término "robot de reproducción", se emplea para describir la forma general en la que opera su sistema de control.

Los robots de reproducción tienen memoria en su controlador, donde pueden registrar una serie de movimientos o posiciones que son enseñadas al robot, para posteriormente repetirlos o reproducirlos bajo su propio sistema de control. El procedimiento de enseñar y registrar en memoria se conoce como la programación del robot.

Los robots de reproducción punto a punto (PTP) son capaces de realizar ciclos de movimiento que consisten en una serie de posiciones o puntos sucesivos. Estas posiciones no están limitadas por topes mecánicos como en el caso de los robots de secuencia limitada; sino que tienen alguna forma de servocontrol para asegurar que las posiciones conseguidas por el robot corresponden a las que se le enseñaron en el programa.

2.5.9.3 Robots de reproducción con control de recorrido continuo

Los robots con este tipo de control, son similares al caso anterior, sólo que el número de posiciones individuales que pueden retenerse en memoria es mucho mayor que en el robot de reproducción punto a punto. Esto significa que los puntos de movimientos que definen un ciclo están muy cercanos unos de otros, lo cual permite tener control sobre la trayectoria seguida.

2.5.9.4 Robots inteligentes

Los denominados robots inteligentes además de tener capacidad para reproducir un ciclo de movimiento programado, pueden interactuar con su medio ambiente de una forma que parece inteligente. Los robots de esta

categoría pueden modificar su ciclo programado en respuesta a las condiciones que se produzcan en su lugar de trabajo.

2.6 SISTEMAS DE CONTROL NUMERICO

El control numérico es una forma de automatización programable en la cual el equipo de procesado es controlado por medio de letras, números y otros símbolos, los cuales se codifican en un formato adecuado para definir un programa de instrucciones que sirve para procesar cierto trabajo particular. Cuando el trabajo cambia, se puede modificar el programa de instrucciones. Esta capacidad de modificar los programas para procesar distintos trabajos, proporciona gran flexibilidad al equipo.

Las aplicaciones del control numérico pueden dividirse en dos categorías: a) aplicación en máquinas herramienta tales como fresadoras, taladros, tornos; y b) aplicación a máquinas no-herramienta, por ejemplo ensambladoras, sistemas de inspección y otros. Sin embargo, cualquiera que sea la aplicación del sistema de control numérico, los principios operativos y de control son básicamente los mismos.

2.6.1 Componentes de un sistema de control numérico.

Todos los sistemas de control numérico tienen tres componentes básicos que son:

- 1.- Programa de instrucciones
- 2.- Unidad de control de máquina
- 3.- Equipo de procesamiento

El programa de instrucciones contiene los comandos que dirigen paso por paso al equipo de procesado. La unidad de control de máquina lee e interpreta el programa de instrucciones y lo traduce en acciones concretas del equipo de procesado; y el equipo de procesado es el encargado de efectuar el trabajo físicamente.

En la figura 18 se ilustra la relación entre los 3 componentes básicos de un sistema de control numérico.

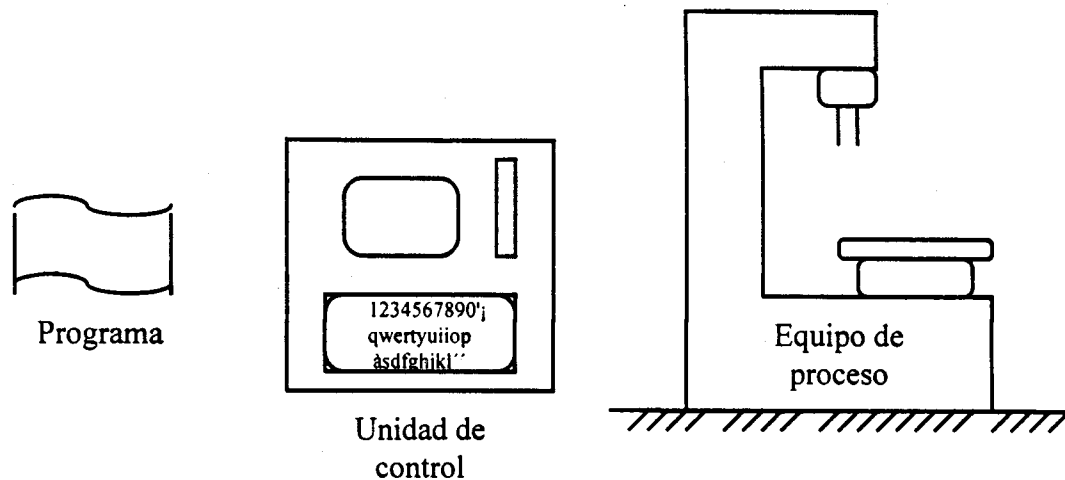


Fig. 18. Componentes de un sistema de control numérico

2.6.2 Exactitud y repetibilidad

La exactitud y la repetibilidad son dos de las características más importantes de los sistemas de control numérico. Estos dos términos tienen básicamente el mismo significado en los sistemas de control numérico y en robótica, que se comentó en la sección anterior (2.5.7).

2.6.2.1 Resolución de control

La resolución de control se refiere a la capacidad que tiene la unidad de control de máquina (MCU) para dividir el rango de movimiento de un eje en puntos cercanos que puedan ser identificados por el controlador. Esto depende de diversos factores, tales como: la capacidad de almacenamiento en bits que tenga el controlador, del sistema de manejo, y de la capacidad de retroalimentación de los sensores. Para el caso en que la resolución de control depende de la capacidad de almacenamiento en bits del controlador (n), el número de puntos direccionables está dado por:

$$\text{número de puntos de control} = 2^n$$

La resolución de control (CR) puede definirse como la distancia entre puntos de control adyacentes y puede determinarse por:

$$\text{CR} = \text{rango de movimiento del eje} / 2^n$$

2.6.2.2 Exactitud

La exactitud es una medida de la capacidad que tiene el sistema de control para posicionar la máquina en una ubicación deseada, esta ubicación,

está definida por un conjunto de valores de los ejes de coordenadas. La exactitud depende no sólo de la resolución de control, sino que además está afectada por los errores mecánicos del sistema, éstos se pueden representar con una distribución estadística normal con una variancia constante para el rango de movimiento del eje. Este concepto está ilustrado en la figura 17 de la sección de robótica.

$$\text{Exactitud} = CR/2 + 3(\text{desv.std. de error mec.})$$

2.6.2.3 Repetibilidad

La repetibilidad se define como la habilidad que tenga el sistema de control para regresar a una ubicación dada, la cual se programó previamente. En un proceso de manufactura, ésta característica es muy importante ya que afecta directamente a la uniformidad de las partes procesadas en la máquina. Los errores de repetibilidad se originan principalmente por errores mecánicos, por lo que pueden definirse con la siguiente relación:

$$\begin{aligned} \text{Repetibilidad} &= \pm 3 (\text{desv.std. de error mec.}) \\ &= 6 (\text{desv.std. de error mec.}) \end{aligned}$$

2.6.3 Tipos de sistemas de control numérico

En los sistemas de control numérico se pueden tener tres tipos de desplazamiento, dependiendo del nivel de sofisticación de la unidad de control de movimientos, estos, son:

- 1.- Desplazamiento punto a punto
- 2.- Desplazamiento paraxial
- 3.- Desplazamiento continuo

2.6.3.1 Desplazamiento punto a punto

Este tipo de desplazamiento también se denomina sistema posicionador, ya que el objetivo es colocar la herramienta en un punto destino predeterminado; la trayectoria seguida no está controlada y por lo tanto no puede servir para el maquinado.

2.6.3.2 Desplazamiento paraxial

Los sistemas de control numérico de este tipo, permiten seguir trayectorias paralelas a los ejes de movimiento únicamente, es decir, en este tipo de sistemas no es posible combinar movimientos simultáneos para lograr

desplazamientos angulares. Cualquier sistema que tenga desplazamiento paraxial también es capaz de efectuar desplazamiento punto a punto.

2.6.3.3 Desplazamiento continuo

Este desplazamiento es el más complejo, el más flexible y el más costoso de los tres tipos. Es capaz de desarrollar operaciones de desplazamiento punto a punto, paraxial y además puede controlar simultáneamente más de un eje de movimiento. La trayectoria del desplazamiento es controlada continuamente por lo que permite cualquier orientación: angular, circular, Etc. El número de ejes que se controlan simultáneamente varía dependiendo del tipo de máquina, pueden ser desde dos hasta cinco ejes.

2.7 INSPECCION AUTOMATIZADA

El término inspección se refiere a la actividad de examinar ya sea el producto terminado, sus componentes ó subensambles, ó los materiales con que está hecho, para determinar si cumple con las especificaciones estándar de diseño, (Groover, Weiss, Nagel y Odrey, 1986)

La automatización del proceso de inspección, permite examinar el 100% de las partes en forma rápida y económica. El equipo que se utiliza en la inspección automatizada puede ser muy variable dependiendo de las características que se deseen examinar. Entre los que más se utilizan en los sistemas flexibles de manufactura están los denominados gages y los equipos de visión.

2.7.1 Gage

Es un dispositivo que se emplea para comparar las características de calidad de la parte, con las especificadas en el diseño. El gage se diseña dependiendo de las características que deseen inspeccionar, por ejemplo, pueden ser dimensiones externas, redondez, diámetros internos o externos, Etc. El gage representa una forma rápida y económica de inspeccionar el 100% de las partes.

2.7.2 Sistema de visión de máquina

La visión de máquina se refiere a la detección de datos de visión, seguida por el procesado e interpretación de estos datos por una computadora para alguna aplicación útil.

La operación del sistema de visión puede dividirse en tres funciones básicas:

- 1.- Detección y digitalización de datos de imagen
- 2.- Análisis y procesamiento de la imagen
- 3.- Interpretación

Para la detección y digitalización se emplean una cámara de video enfocada a la escena de interés, y un sistema digitalizador; la imagen digitalizada se almacena en la computadora para analizarla posteriormente.

El área de interés debe estar bien iluminada para que la cámara pueda captar la imagen. Para obtener una imagen, se divide el área de visión dentro de una matriz de elementos de imagen discretos denominados pixels. Cada pixel individual corresponde a una pequeña parte de la escena y tiene un valor único que es proporcional a la intensidad de luz de esa porción de la escena. El valor de intensidad de cada pixel se convierte en un valor digital equivalente mediante un convertidor analógico/digital.

El sistema de visión más sencillo es el denominado sistema de visión binario, en el cual, la intensidad de cada pixel se reduce a uno de dos valores posibles, los cuales representan los colores blanco y negro. Este sistema es suficiente para detectar la ausencia o presencia de algún elemento, ó si la orientación de la pieza es la adecuada. Otros sistemas de visión más sofisticados son capaces de distinguir varios niveles de gris en la imagen, lo que permite analizar texturas y colores.

La cantidad de datos que se genera al captar una imagen con el procedimiento anterior es bastante considerable, estos datos deben ser procesados y analizados en un corto período de tiempo, por lo que la mayoría de las técnicas que se utilizan para el procesamiento y análisis están encaminadas a reducir el volumen de datos de imagen que deben ser procesados.

La función de interpretación se logra mediante una comparación de la imagen del objeto que se observa con respecto a la imagen de un modelo o prototipo que cumple con el estándar establecido.

2.8 INTERFASE

El término interfase se refiere tanto al hardware como al software que hacen posible una comunicación, ya sea entre una persona y una máquina o entre dos máquinas. (Turban, 1992)

Todas las máquinas y el equipo que forma parte de un sistema flexible de manufactura trabajan para lograr un objetivo común: producir un producto. Para que cada máquina pueda desarrollar correctamente el trabajo que le corresponde, debe tener capacidad para comunicarse con otros elementos del sistema.

En un sistema flexible de manufactura interfase significa tener la capacidad de responder correctamente a mensajes recibidos o de enviar mensajes que puedan ser comprendidos.

Cuando las máquinas tienen interfase pueden comunicarse entre sí. Por lo general, las máquinas son de diferentes fabricantes y no tienen un formato de datos estándar, por lo tanto, no son compatibles para comunicarse; requieren de un módulo de interfase de señal a través del cual transforman los datos a un formato neutral. El problema es que cada máquina requiere de un módulo distinto y es bastante costoso.

Una alternativa más económica para lograr la comunicación, es utilizar un lenguaje más universal como es el intercambio de señales digitales. Una señal digital se genera mediante algún dispositivo diseñado para producir voltajes de salida que se clasifican dentro de algún intervalo preestablecido, el cual se asocia con valores discretos 0 y 1, (Tocci, 1993). En la figura 19 aparece una señal digital común.

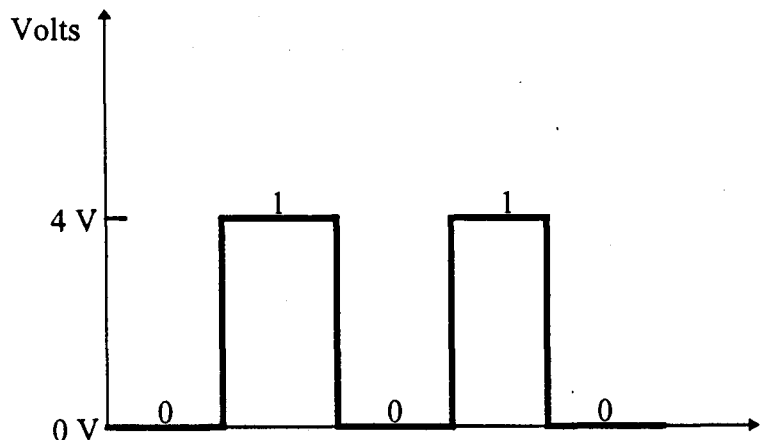


Fig. 19 Señal digital común

La comunicación en base a señales digitales ó discretas consiste simplemente de intercambios de voltaje entre máquinas.

Utilizando el intercambio de señales discretas como medio de comunicación, no se requiere ni de sintaxis ni de algún formato de datos en particular. El significado de la señal se interpreta dependiendo del lugar donde provenga y según las instrucciones que aparezcan en el programa de control de la máquina. Puede significar el inicio de operaciones, una pausa, detener las acciones, etc.

2.8.1 Interfase I/O

La mayoría de los microprocesadores de control de las máquinas tienen una interfase externa de entradas/salidas que se denomina interfase I/O (input/output), la cual acepta cierto rango de voltajes.

Además del módulo I/O del equipo, se requiere de cables y conectores para conectar los equipos que se tienen que comunicar.

Capítulo 3

PROCEDIMIENTO

Para alcanzar el objetivo planteado en el presente trabajo, se desarrollaron las siguientes etapas:

1.- Descripción del Sistema Flexible de Manufactura instalado.

Para hacer esta descripción, se investigaron y analizaron las características de diseño del FMS en su conjunto así como de cada una de las partes que lo integran, tomando como base los manuales del fabricante, la información verbal proporcionada por los instaladores del equipo y la observación directa del sistema.

Las actividades específicas que se desarrollaron en esta primera etapa fueron las siguientes:

- a) Investigación bibliográfica y recopilación de información sobre Sistemas Flexibles de Manufactura.
- b) Analizar aspectos teóricos relevantes de los FMS.
- c) Descripción del Sistema AMATROL instalado en el centro de manufactura del ITESM campus Sonora-norte.
- d) Descripción de aspectos mecánicos y software de cada uno de los elementos que integran el sistema.
- e) Probar el equipo instalado para analizar su funcionamiento mecánico, el software y las señales utilizadas en la interfase para la integración.

2.- Selección de productos para su fabricación.

La selección de los productos a fabricar se hizo considerando las características de diseño del FMS, las limitaciones de tamaño y peso del producto que se puede manufacturar, la secuencia de procesado de cada producto, los preparativos necesarios en el FMS para su fabricación y los requerimientos de la región.

3.- Planeación y diseño del proceso de manufactura.

El diseño original del producto, se modificó para reducir el número de operaciones requeridas y el número de partes, y para adaptarlo a las características de manufactura y ensamble del equipo. Estas modificaciones

se hicieron conservando el objetivo y características de funcionamiento del producto original.

4.- Preparativos en el FMS para fabricar los productos seleccionados.

Aunque la selección de productos se hizo considerando modificaciones mínimas del FMS, los cambios de forma, tamaño y herramientas para su procesado, requieren de ciertos preparativos como son: modificar los accesorios de los pallets, los dispositivos alimentadores de las piezas de ensamble, y la adaptación de los efectores de los robots para manipularlas adecuadamente .

5.- Diseño de los programas de cada equipo.

En base al software que utiliza cada equipo, se diseñaron los programas necesarios para que realicen sus operaciones automáticamente.

6.- Integración de los equipos del FMS.

La integración de los equipos se hizo utilizando el software AMNET de la computadora central e incluyendo en los programas de cada equipo las instrucciones relacionadas con las señales empleadas para la interfase.

7.- Optimización del sistema.

Para optimizar la operación del sistema, se simularon diferentes configuraciones de proceso y programas de producción utilizando el software AMNET de la computadora central para analizar el desempeño.

8.- Comparación del desempeño del FMS con los procesos que se utilizan en la región para fabricar los mismos productos, considerando calidad, tiempo de procesado e inventario en proceso.

9.- Análisis de resultados y conclusiones.

3.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA AMATROL INSTALADO EN EL CENTRO DE MANUFACTURA

3.1.1 Descripción general del FMS

Este sistema puede considerarse como de flujo aleatorio, ya que permite procesar de manera simultánea piezas completamente diferentes, con distintas secuencias de procesado.

Esta equipado con maquinaria de uso general, que le permite un alto grado de flexibilidad. Según las características del equipo y el arreglo del

mismo, se pueden identificar familias de partes o grupos tecnológicos como los siguientes:

- 1.- Partes que requieren operaciones de maquinado en el torno y centro de maquinado.
- 2.- Partes que requieren de montajes o ensambles
- 3.- Partes que requieren de ensambles verticales de precisión, como tarjetas electrónicas.
- 4.- Partes que requieren de alguna combinación de las operaciones anteriores.

El peso y el tamaño de las piezas que pueden ser procesadas por este sistema, dependen de las limitaciones de capacidad de carga y dimensiones del equipo que integra el FMS. Aunque algunos equipos tienen un potencial mucho mayor, cuando se utilizan de manera integrada con el resto del sistema, están limitados a procesar piezas pequeñas que pesen cuando mucho 1 ó 4 kilos (dependiendo de las operaciones que requiera) y cuyas dimensiones no excedan un volumen espacial de 7x7x5 pulgadas.

La configuración del sistema aparece en la figura 20, como puede observarse es del tipo ciclo, y permite que las partes fluyan en una sola dirección, lo que limita la secuencia de procesado.

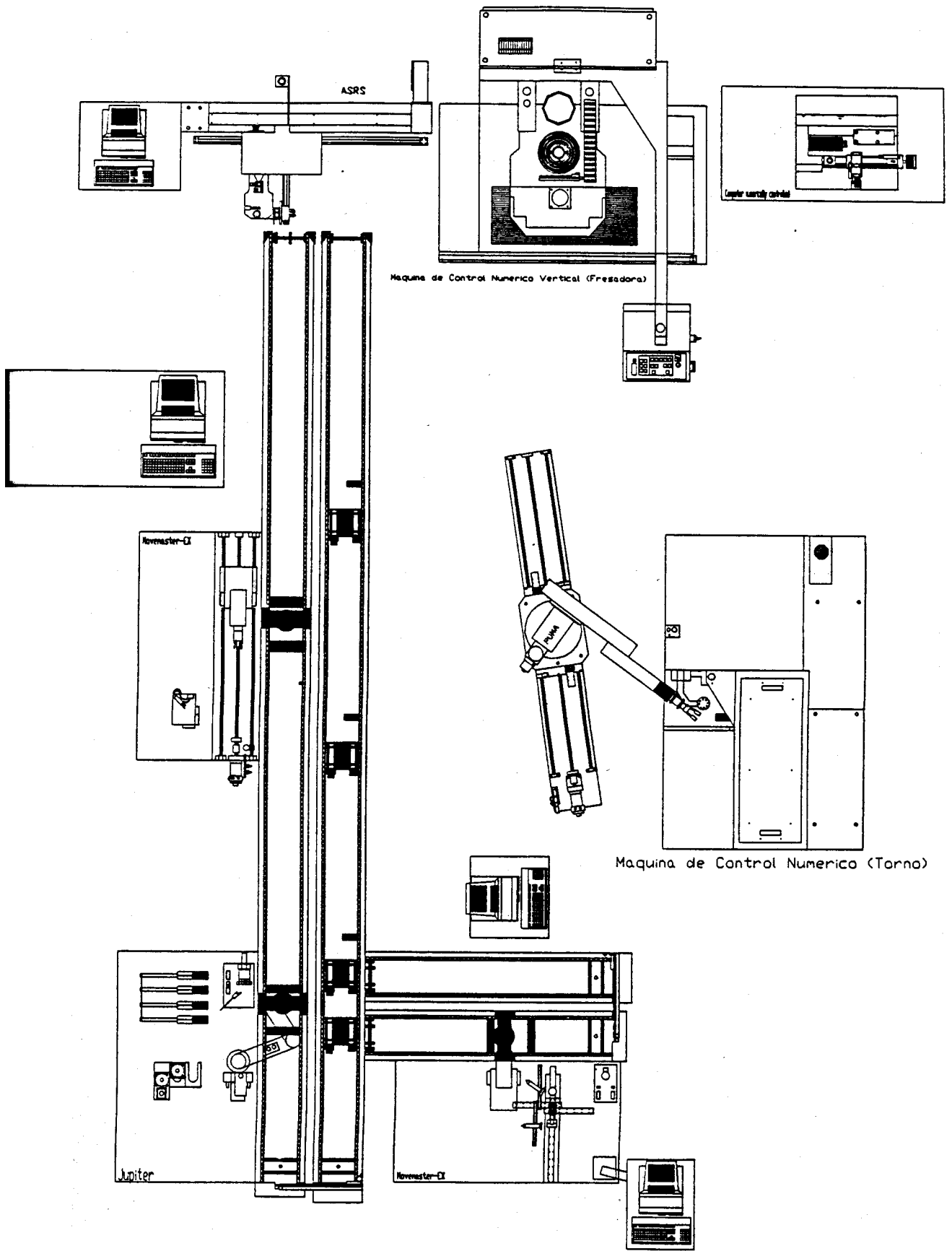


Fig. 20 Distribución del FMS instalado

El sistema cuenta con sistema de manejo de materiales y almacenamiento automatizado y las siguientes seis estaciones de trabajo:

Estación 1.- Es la que recibe los materiales que entran al sistema para ser procesados. Estos materiales provienen directamente del almacén.

Estación 2.- Para realizar operaciones de maquinado, tiene un centro de maquinado vertical de control numérico computarizado.

Estación 3.- Para realizar operaciones de torneado, está equipada con un torno de control numérico computarizado.

Estación 4.- Es para ensambles verticales de precisión, los cuales se realizan con un robot tipo SCARA

Estación 5.- Está equipada con un robot de brazo articulado y un gage para efectuar mediciones.

Estación 6.- Está equipada con un robot de brazo articulado y un sistema de visión para inspección.

El FMS tiene sistema de control computarizado para coordinar las operaciones. La computadora central es la encargada de hacer que el sistema produzca físicamente las partes que se le solicitan en el programa de producción. Esta computadora central utiliza el software AMNET, el cual sincroniza las operaciones del piso de manufactura en base a la disponibilidad del equipo, de manera similar al funcionamiento de un sistema de Kanban. No alimenta materia prima al sistema mientras no se tenga disponible el equipo requerido para procesarla, lo cual suaviza el flujo del proceso.

3.1.2 Control computarizado

El método de control usado en el sistema CIM de AMATROL, corresponde a un esquema de control distribuido. Esto significa que no todas las acciones de control se ejecutan desde la computadora central. Se encuentran bajo control, pero no son manipuladas continuamente. En otras palabras, la computadora central delega a un nivel inferior el control, a través del cual coordina las señales enviadas a los controladores individuales de las celdas.

El control constante de todos los procesos requiere mucho tiempo de computadora y mucha memoria; en cambio, el control distribuido libera al controlador central, permitiéndole mantener la habilidad de coordinar el sistema completo, sin necesidad de supervisar cada acción individual.

En la figura 21 aparecen los niveles de control o control jerárquico para el sistema AMATROL.

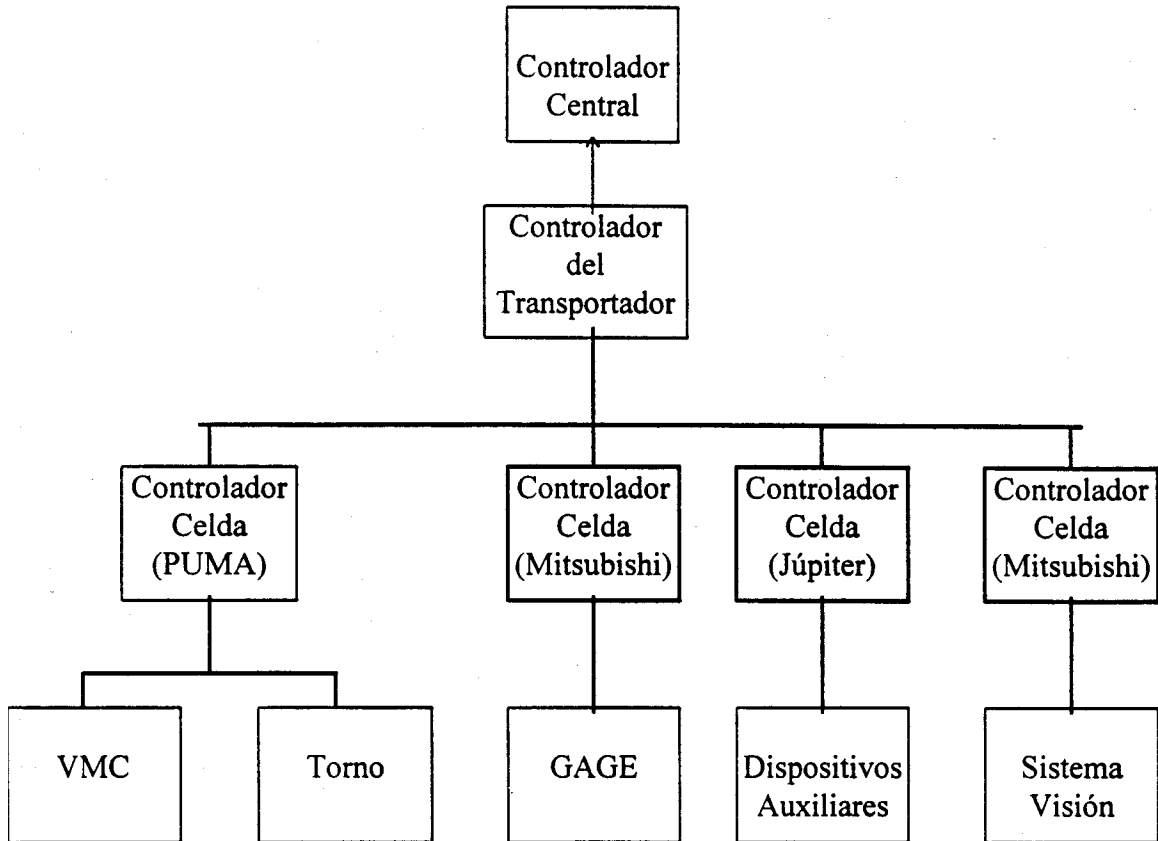


Fig. 21 Niveles de Control del FMS instalado

3.1.3 Interfase del FMS Amatrol

El sistema AMATROL utiliza como interfase el intercambio de señales discretas por dos razones principalmente: 1) es menos costoso, y 2) la mayoría de las máquinas en el mercado pueden ser intercomunicadas sin necesidad de preocuparse por el lenguaje o protocolo.

La capacidad de interfase de comunicación para RS-232, permite soportar series de datos, análisis estadístico, transmisión de programas y otras aplicaciones del sistema.

Las máquinas sobre la línea de manufactura integrada por computadora se comunican entre ellas intercambiando señales discretas, que generalmente son de 24 VCD.

3.1.3.1 Tipos de señales.

Existen dos diferentes tipos de señales que se envían entre cualquier estación que esté en proceso de comunicación. Estas son: "pallet ready" y "pallet done".

La señal "pallet ready" es generada por el controlador del transportador (dirigido por la computadora central) y enviada a cualquier estación que necesite empezar una tarea o acción.

La señal "pallet done" se genera por la estación que realiza el trabajo para indicar que su tarea o acción ha sido terminada, y que el pallet está listo para retirarse.

Con este tipo de comunicación, lo importante no es el lenguaje usado para generar la señal o para esperar su recepción, ya que éste puede variar de un equipo a otro, lo que verdaderamente tiene significado es la secuencia en la cual se transmiten las señales.

3.1.3.2 Interfase con los robots.

En ocasiones, puede ocurrir que al encender el controlador de un robot, exista una señal "pallet ready" en la estación, lo cual provocaría que el robot empezara antes de lo debido; para prevenir esto, generalmente se utiliza una instrucción al principio del programa del robot, para indicar que se debe esperar hasta que la señal se encuentre apagada.

3.1.3.2.1 Secuencia para las señales

Desde el punto de vista del controlador del robot, la secuencia en la que se deben incluir en el programa las instrucciones relacionadas con las señales, es la siguiente:

- 1.- Esperar que la señal "pallet ready" se encuentre apagada
- 2.- Esperar que la señal "pallet ready" se encuentre encendida
- 3.- Desarrollar la tarea o trabajo asignado
- 4.- Encender la señal "pallet done"
- 5.- Esperar que la señal "pallet ready" se apague
- 6.- Apagar la señal "pallet done"
- 7.- Repetir desde el paso 1 las veces que se requiera.

La sintaxis para codificar las instrucciones anteriores, depende del lenguaje de programación que utilice cada equipo; pero, como se explicó anteriormente, la secuencia no debe variar de un equipo a otro.

Para nombrar las señales se emplean dígitos. Estos dígitos no se escogen arbitrariamente, dependen del hardware, es decir, de la forma en que se hagan las conexiones de los cables al instalar el sistema.

3.1.3.3 Interfase con el equipo de Control Numérico

El equipo de control numérico computarizado, tiene interfase directa con el controlador de la celda (robot PUMA); esto significa, que las señales generadas en el transportador no son recibidas directamente, por lo que no provocan ninguna acción.

El controlador de la celda, en este caso el robot PUMA, debe generar una señal similar a la denominada "pallet ready" para que el equipo de CNC actúe.

3.1.3.3.1 Secuencia para las señales

La secuencia en la que deben aparecer en el programa las instrucciones relacionadas con las señales, difiere de la secuencia para los robots, mostrada en la sección anterior, ya que en la comunicación con las máquinas de CNC no es necesario apagar la señal enviada desde el controlador de la celda.

Desde el punto de vista de las máquinas CNC, la secuencia es la siguiente:

- 1.- Esperar que se encienda la señal de inicio "pallet ready" del controlador de la celda.
- 2.- Desarrollar las operaciones de maquinado
- 3.- Enviar una señal de terminación "pallet done" al controlador de la celda.
- 4.- Apagar la señal "pallet done"
- 5.- Repetir desde el paso 1 las veces que se requiera.

3.1.4 Banda Transportadora

El manejo de materiales o partes desde el almacén a las estaciones de trabajo donde van a ser ensambladas o maquinadas, se logra con un sistema transportador tipo banda, que está instalada formando un lazo o ciclo como puede observarse en la figura 20.

Las piezas que son procesados en este sistema flexible de manufactura, deben estar colocados sobre un dispositivo denominado "pallet" para facilitar su manejo.

Los pallets están diseñados para acoplarse a la banda transportadora. En la figura siguiente se muestra el tipo de pallet que se utiliza en este transportador.

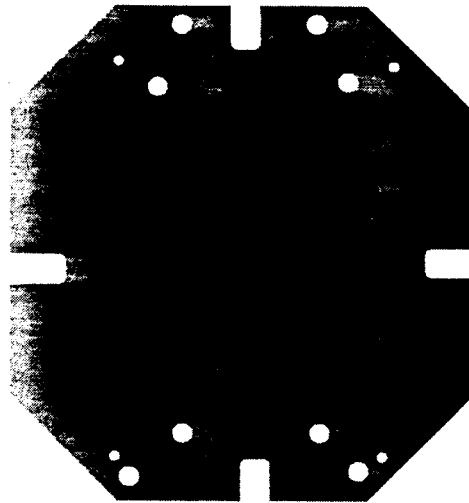


Fig. 22 Figura del Pallet

Como los productos que se colocan en los pallets pueden ser muy variables, es importante que, dependiendo de las características del producto, se diseñen accesorios para los pallets que permitan que éstos se mantengan fijos durante su recorrido, lo cual es muy importante para que el proceso sea uniforme, y que las operaciones de carga o descarga de los robots se realicen adecuadamente.

A cada pallet diferente se le asigna un código de barras que sirve para identificar la pieza o parte que contiene al pasar por la lectora de barras o scanner.

La banda transportadora se mueve a velocidad constante mientras el sistema de manufactura esté operando; permite el flujo de partes o materiales en una sola dirección: desde/hacia el almacén.

Por la parte externa de la banda transportadora, existen 6 estaciones de trabajo las cuales cuentan con un mecanismo para el manejo de los pallets.

Dependiendo del tipo de mecanismo que posean, las estaciones se clasifican en dos tipos: estación transferidora o "transfer" y estación posicionadora o "positioner".

Las estaciones 1,2,3 y 5 son de tipo "transfer", es decir, cuando un pallet debe llegar a alguna de estas estaciones, el pallet se retira completamente del transportador para no entorpecer el flujo de otro pallets con diferente destino.

Las estaciones 4 y 6 son de tipo "positioner", lo cual significa que los pallets que deben llegar a estas estaciones, son detenidos y fijados sobre la

línea del transportador. En este caso, aunque no se detiene el transportador, sí se bloquea temporalmente el paso de otros pallets al llegar a este punto.

Por lo general, los mecanismos tipo "transfer" se emplean en estaciones donde el tiempo de proceso es mayor, para evitar cuellos de botella y mantener el flujo de partes y materiales que llevan otro destino, lo que permite disminuir tiempos de ciclo, incrementando con esto la productividad del sistema.

Si el transportador opera como parte de un sistema de manufactura integrado por computadora, la computadora central es la que dirige toda la operación de la línea. Al configurar el proceso, se define la trayectoria que debe seguir cada pallet según sean las operaciones que requiera la parte que transporta, además, como se mencionó antes, todos los pallets tienen asignado un código de barras lo que permite identificarlo al entrar al sistema y pasar por la lectora de barras. Con esta información, la computadora determina en que estaciones debe detenerse.

El transportador tiene un controlador electrónico programable (PEC), modelo 822-PEC-ASB, versión 1.1 que utiliza el controlador programable Allen Bradley SLC-100.

Este controlador, tiene capacidad para activar mecanismos del sistema transportador que permiten posicionar o transferir los pallets a medida que estos avanzan, además, puede generar y recibir señales externas del tipo I/O (Input/Output) para comunicarse, ya sea con la computadora central, con los robots o con cualquier dispositivo que forme parte del sistema.

Con el objeto de monitorear el tráfico o flujo de pallets en todo momento, el sistema transportador está dividido en secciones entre las diferentes estaciones; en cada una de las estaciones se tiene un sensor que detecta la llegada o el paso de los pallets y envía una señal al controlador, de tal forma que si algún pallet no llega a su destino en el tiempo esperado, aparece un mensaje en la pantalla de la computadora central.

3.1.5 Sistema Automatizado de Carga y Descarga

Modelo 863 AS/RS de AMATROL

El AS/RS está diseñado para automatizar el proceso de manejo de materiales o administración de inventarios. Se puede usar de manera independiente o junto con un sistema de manufactura integrada por computadora; normalmente se encuentra interconectado con un transportador,

como es el caso de este FMS, pero también puede interconectarse con un vehículo guiado automáticamente (AGV).

En este FMS, se encuentra instalado en un extremo de la banda transportadora, de tal forma, que todos los productos que son procesados por este sistema flexible de manufactura, salen del AS/RS en calidad de materia prima y regresan de nuevo al mismo en calidad de producto terminado.

3.1.5.1 Descripción física:

El modelo 863 AS/RS de AMATROL consta básicamente de cinco partes principales:

- Estructura para almacenamiento de pallets,
- Manipulador del robot o carro,
- Amplificador de poder,
- Controlador del robot (899-CC2),
- Terminal de programación

El AS/RS es un robot de coordenadas cartesianas con cuatro ejes, dos de ellos son servocontrolados y dos son de tipo no-servocontrolados.

En la figura 23, se ilustran los cuatro ejes de movimiento.

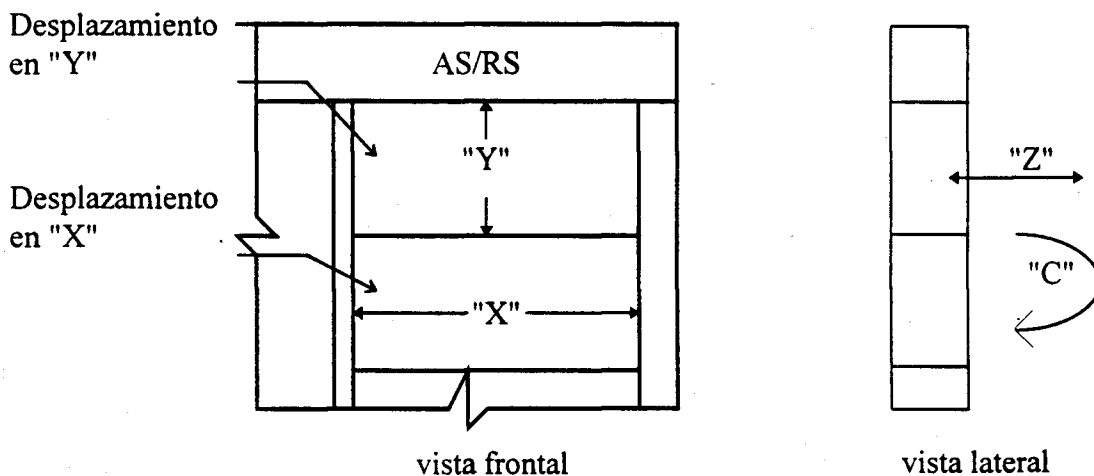


Fig. 23 Ejes de movimiento del AS/RS

Los dos ejes servocontrolados tienen movimiento lineal (eje X y eje Y) y permiten posicionar el carro del robot en cualquier punto del plano X-Y.

El carro o manipulador del robot está diseñado para manipular los pallets, tiene 2 ejes de movimiento no-servocontrolado, los cuales funcionan con aire comprimido y señales eléctricas del controlador.

El eje Z es lineal, perpendicular al plano X-Y y el eje C es de tipo rotacional.

El manipulador del robot tiene un gripper neumático capaz de levantar los pallets ya sea para guardarlos o retirarlos de las localidades donde están almacenados.

Para sacar o colocar un pallet en alguna localidad del almacén, es necesario que el manipulador del robot se coloque frente a la localidad deseada y realice pequeños movimientos que le permitan colocar o retirar el pallet sin arrastrarlo; estos pequeños movimientos se denominan "incrementos".

Para fijar el carro o manipulador del robot en un punto sobre el eje Y, se utiliza el sistema de freno, que opera neumáticamente.

El carro del AS/RS se puede controlar manualmente utilizando cuatro funciones que tiene disponibles, las cuales son las siguientes:

BRAKE CONTROL:	Para activar o desactivar el sistema de freno
GRIPPER:	Para abrir o cerrar el gripper
ROTATE:	Permite girar el eje C hacia dentro o hacia afuera
TRANSFER:	Para mover el eje Z hacia adentro o hacia afuera de la localidad.

La estructura para almacenamiento de pallets tiene 25 localidades que se denominan bahías.

Las bahías, están distribuidas en 5 niveles horizontales y 5 columnas verticales. Cada bahía puede guardar un sólo pallet.

Las 25 localidades o bahías son idénticas y miden 7.5 pulgadas de alto, 10 pulgadas de ancho y 10 pulgadas de profundidad.

El arreglo de las bahías se puede comparar con el de una matriz formada por 5 columnas y 5 renglones. Si se observa de frente el AS/RS por el lado donde se encuentra el carro, la esquina superior izquierda de la matriz es la bahía número 1. Los números de las bahías se incrementan de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Esto se ilustra en la figura 24

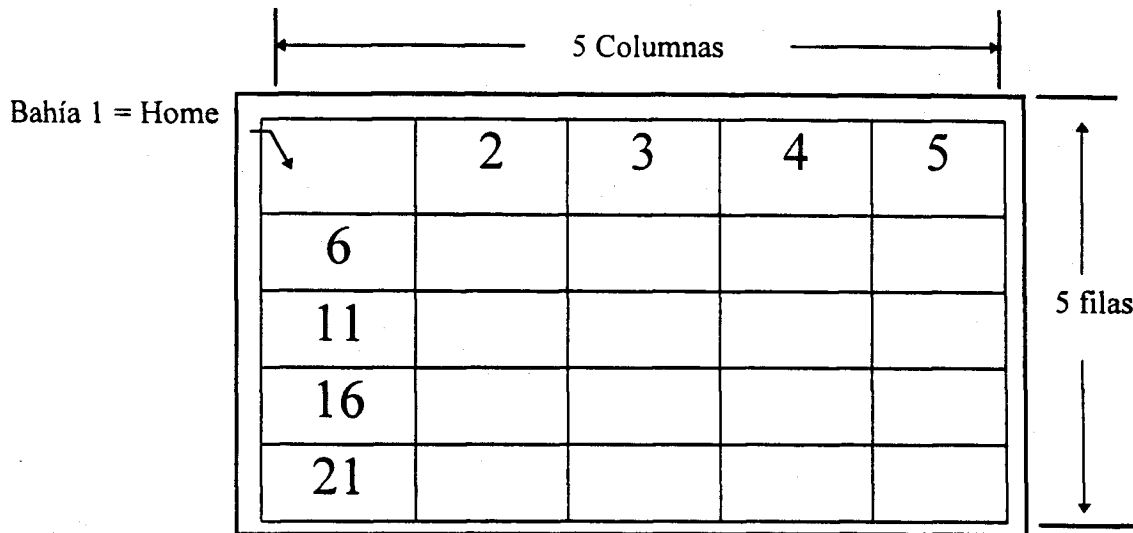


Fig. 24 Distribución y definición de bahías

Para que el AS/RS funcione, requiere de una serie de instrucciones que le indiquen la secuencia de movimientos, el momento preciso de ejecutarlos, la velocidad con la que debe moverse, etcétera, esta serie de instrucciones se denomina programa de control. Además del programa de control, requiere que se le proporcione información respecto al material que tiene almacenado, tal como: nombre, número de parte y localidad donde se encuentra guardado; esta información está contenida en lo que se denomina "stock" o declaración del inventario.

La creación del programa de control y la declaración de inventario se hacen utilizando el software del AS/RS, el cual se describe a continuación.

3.1.5.2 Software

El software de programación del AS/RS está estructurado en menús de varios niveles, como puede observarse en el esquema de la figura 25

En cada nivel aparecen varias opciones en pantalla, éstas se pueden seleccionar utilizando las teclas de función. La barra espaciadora sirve para desplegar otras opciones del mismo nivel, y la tecla Esc se utiliza para moverse de un nivel a otro.

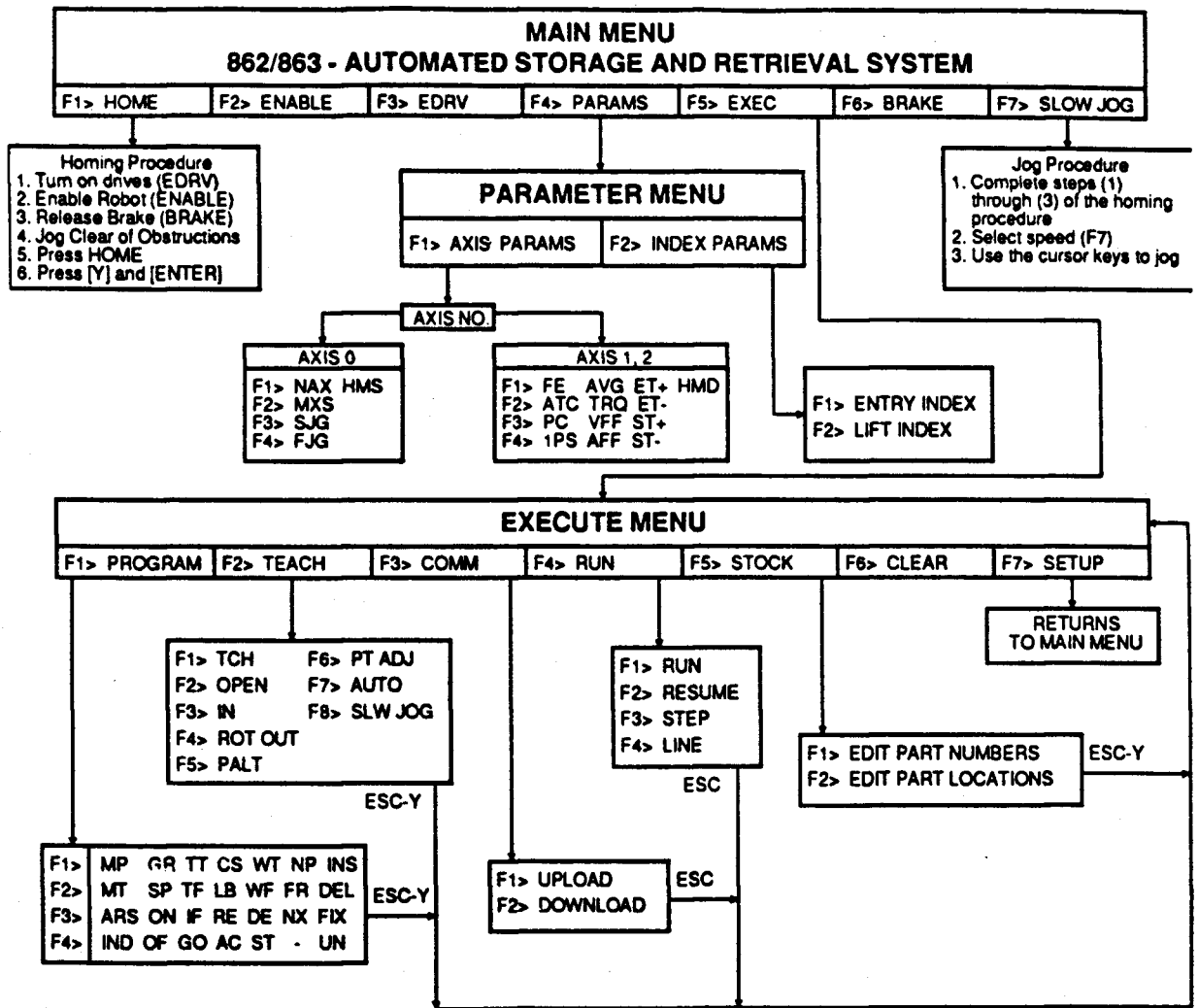


Fig. 25 Estructura del software del AS/RS

En el segundo nivel de la estructura del menú, se encuentra el "EXEC MENU", dentro del cual existen varios submenús o modos de operación que permiten realizar la mayor parte del trabajo para la operación del robot; estos, se describen a continuación.

PROGRAM.- Se emplea para escribir o editar programas. La programación del AS/RS puede ser de dos tipos: manual y automática.

La programación manual consiste de una serie de comandos que le indican al AS/RS hacia donde moverse y en que secuencia hacerlo.

En la tabla 3 aparece una lista de las instrucciones de programación y una breve descripción de cada una de ellas.

La programación automática sólo se puede utilizar cuando el AS/RS es parte de un sistema de manufactura integrado por computadora que utiliza el software de AMNET. Este tipo de programación es mucho mas sencilla, ya que únicamente se tienen que proporcionar cuatro instrucciones:

'LABEL',
'SPEED',
'ARS',
'GO'.

El comando 'ARS' es especial para la programación automática y sirve para que el controlador del AS/RS, habilite su puerto de comunicaciones para recibir las instrucciones de control de la computadora central.

TEACH.- Sirve para enseñar al robot las posiciones o coordenadas de ubicación, para movimientos posteriores. El software de programación tiene la opción de calcular automáticamente la posición de todas las bahías con sólo darle un punto inicial de referencia. Cuando se emplea este método, las posiciones son numeradas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Actualmente, se encuentran definidas las posiciones de todas las bahías, desde la 1 hasta la 25.

Además de las posiciones de las bahías, existen 6 puntos especiales, los cuales están reservados de la siguiente manera:

Punto 0: corresponde a la posición de "home". No es necesario enseñarlo ya que su posición está definida por el límite de los sensores, generalmente, está ubicado en la esquina superior izquierda de la matriz.

Punto 80: está reservado para cuando se utiliza un scanner de código de barras montado en la estructura del AS/RS.

Punto 81: corresponde a un punto alto sobre el transportador, cuando el AS/RS vá a dejar un pallet en el mismo.

Punto 82: es el punto donde se coloca el AS/RS listo para abrir el gripper, cuando deja un pallet en el transportador.

Punto 83: es el punto alto cuando se va a retirar un pallet del transportador

Punto 84: es el punto exacto para retirar un pallet del transportador.

COMM.- Se utiliza para la documentación del programa.

RUN.- Sirve para ejecutar el programa.

STOCK.- Para editar la localización y número de partes almacenadas.

Tabla 3

<u>Comandos de control de los ejes no-servocontrolados</u>		
IND 0		Entrada por la parte de abajo
IND 1		Entrada por la parte de arriba
IND 2		Colocar o depositar
IND 3		Levantar
GR 0		Abrir gripper
GR 1		Cerrar gripper
GR 2		Mov. del gripper hacia adentro de la bahía
GR 3		Mov. del gripper hacia fuera de la bahía
GR 4		Girar el gripper hacia dentro
GR 5		Girar el gripper hacia fuera
<u>Instrucciones de programación</u>		
MP	(Move Point)	El manipulador del robot se mueve hasta el punto especificado y se detiene.
MT	(Move through)	El manipulador del robot se mueve a través del punto especificado (no se detiene)
GR	(gripper)	Este comando opera el efector del manipulador
SP	(Speed)	Asigna la velocidad de mov. del sistema
ON;OFF	(output on/off)	Enciende o apaga un bit. El estado del bit provoca una salida de voltage que se emplea para la interfase I/O
GO	(Goto)	Salto incondicional hasta la etiqueta especificada
CS	(Call subroutine)	Llama a la subrutina que empieza con la etiqueta que se indica
RE	(Return Subroutine)	Fin de subrutina y regreso al programa principal
DE	(Delay)	Demora en décimas de segundo
NP	(No operation)	Línea en blanco en el programa. Se usa para separar partes de un programa
AC	(Aceleración)	Aceleración de los ejes del robot.
ST	(Stop)	Detiene todos los ejes de Movimiento.
FR	(For)	Inicio del siguiente ciclo
NX	(Next)	Fin del siguiente ciclo
ARS	(ASRS)	Instrucción especial para programación automática
IND	(Index)	Comando para subir o bajar el manipulador
LB	(Label)	Señal o etiqueta
WT	(Wait true)	Espera hasta que se enciende la señal de entrada especificada
WF	(Wait False)	Espera hasta que se apaga la señal de entrada especificada

Tabla 3. Instrucciones de programación del AS/RS

3.1.6 Robot PUMA Mark II

El sistema del robot PUMA es manufacturado por UNIMATION y está diseñado para adaptarse a un amplio rango de aplicaciones.

En la celda AMATROL se encuentra instalado sobre un eje móvil que le permite dos posiciones extremas frente a las estaciones 2 y 3. La función que desempeña, es la de cargar y descargar las piezas al equipo de CNC, tanto a la fresadora como al torno, además, controla las operaciones de maquinado.

3.1.6.1 Componentes principales.

El sistema del robot PUMA 560, consta de 5 unidades básicas:

- Controlador
- Brazo del robot
- Control alámbrico (teach pendant)
- Software
- Periféricos (terminal, módulo I/O, unidad de manejo de disco flexible)

En la figura 26 aparece el sistema del robot.

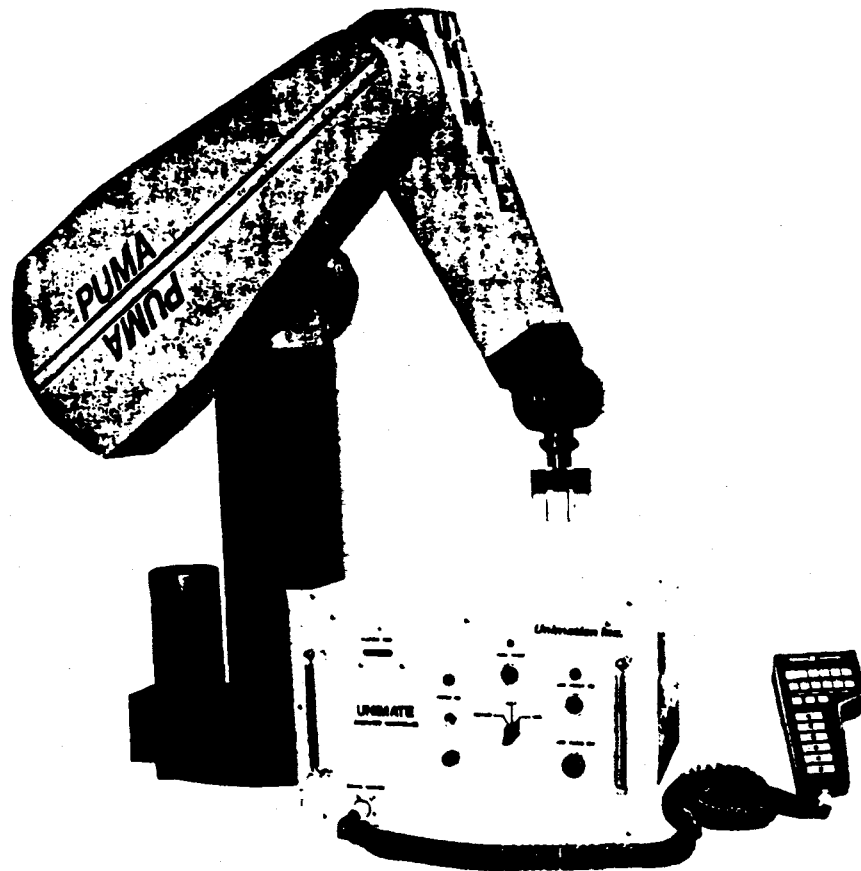


Fig. 26 Sistema del Robot PUMA 560

3.1.6.2 Brazo del robot

El brazo del robot es el componente mecánico del sistema, tiene 6 grados de libertad, o ejes de movimiento; cada uno de estos ejes es controlado por un servomotor de corriente directa, estos, se encuentran instalados dentro de los miembros del robot.

Cada miembro del brazo del robot está conectado con otro miembro mediante una articulación, de manera similar a la configuración humana.

Los miembros del brazo del robot aparecen en la figura 27, estos son: tronco, hombro, brazo, antebrazo, muñeca y efector o pinzas.

La capacidad máxima de carga del robot es de 13 libras sin considerar el peso de la herramienta o efector que tenga instalado.

El brazo del robot, pueden alcanzar movimientos muy finos, con una repetibilidad de posición de ± 0.1 mm.. Es importante tomar en cuenta que en movimientos que requieren de mucha precisión es necesario disminuir la velocidad, así como también es necesario darle un tiempo de retraso en cada movimiento que ejecuta.

El volumen de trabajo es esférico con un radio de 0.92 metros. Los ejes de rotación y el rango de rotación de cada eje se muestra en la figura 27.

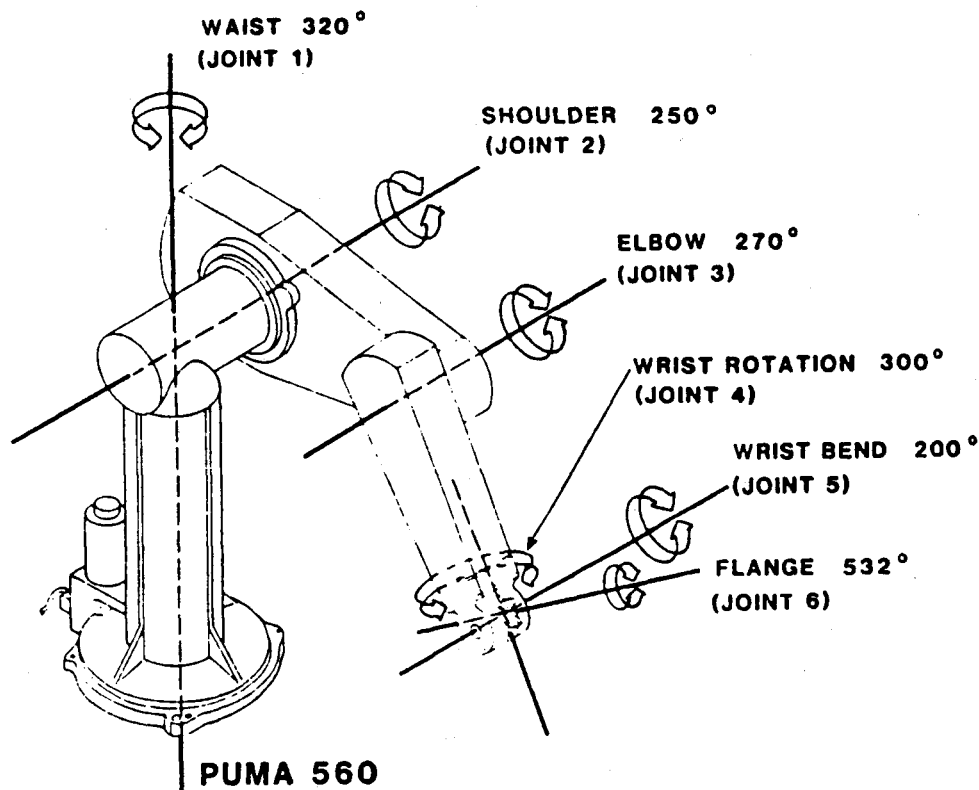


Fig. 27. Ejes de rotación y rango de operación del brazo del robot PUMA

3.1.6.3 Efector

El efector que tiene instalado el robot Puma, es tipo pinzas y funciona neumáticamente

3.1.6.4 Controlador

El controlador es el componente principal del sistema electrónico. Todas las señales que se envían hacia el robot o desde él, pasan a través del controlador, además realiza los cálculos necesarios para controlar los movimientos y las posiciones del brazo del robot.

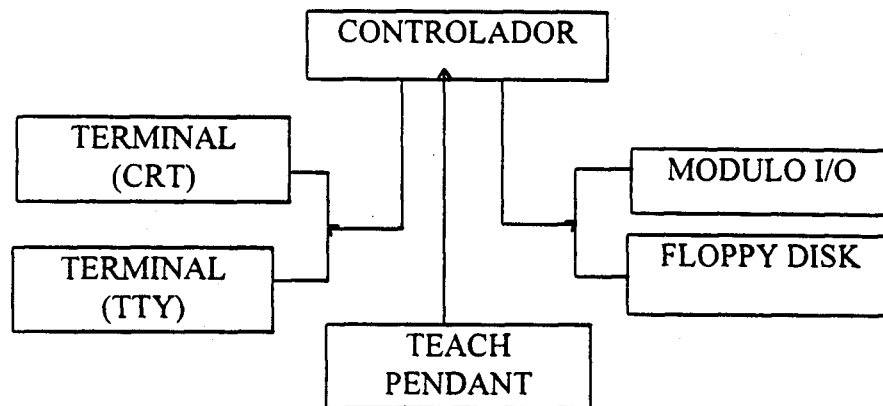


Fig. 28. Flujo de información en el sistema del Robot PUMA

El sistema del robot Puma, cuenta con una computadora integrada donde almacena la información en una memoria interna. Los programas también pueden almacenarse fuera del controlador usando un disco de 5 1/4. Es el único en la celda, que no almacena los programas en la computadora central.

Para enseñar al robot, se pueden emplear dos procedimientos.

El primero consiste en utilizar el control alámbrico para dirigir manualmente los movimientos del robot a través de cada posición de una rutina. Estos pasos se graban y almacenan en la memoria de la computadora.

El segundo método consiste en escribir un programa utilizando instrucciones del software las cuales se alimentan a la memoria a través del teclado de la terminal periférica.

Cualquiera que sea el método que se utilice para enseñar al robot, el controlador transmite las instrucciones de la memoria de la computadora al brazo del robot para que este las ejecute.

3.1.6.5 Software

El lenguaje de programación y operación del sistema del robot, es un lenguaje de alto nivel denominado VAL II. Consiste en una serie de instrucciones para enseñar al robot y editar los programas.

Como se mencionó anteriormente, la programación puede hacerse desde el teclado o utilizando el control alámbrico. Utilizar el control alámbrico es mas sencillo, pero, el aprovechamiento completo de la versatilidad del lenguaje VAL II, sólo se puede lograr a través del uso del teclado.

Los comandos de programación del lenguaje VAL II y las funciones del pendant aparecen en tabla 4, así como también una breve descripción de los mismos.

Tabla 4

PUMA (Programation Universal Machine for assembly)	
<u>Funciones del pendant</u>	
COMP	Permite ejecutar comandos o programas desde la terminal del robot
TOOL	Selecciona la operación jog cartesiana. Permite mover el robot a través del eje cartesiano de la herramienta sin perder la orientación de la misma.
JOIN	Selecciona la operación jog articulada. Permite mover sólo una de las articulaciones del robot.
X/1	Mueve el robot a través del eje X. Mueve la base del robot (articulación 1)
Y/2	Mueve el robot a través del eje Y. Mueve el hombro del robot (articulación 2)
Z/3	Mueve el robot a través del eje Z. Mueve el codo del robot (articulación 3)
RX/4	Rota la muñeca del robot (articulación 4)
RX/5	Mueve la muñeca del robot de arriba hacia abajo o viceversa (articulación 5)
RX/6	Rota el efector del robot (articulación 6)
<u>Comandos.</u>	
EXECUTE<Program> Ejecuta el programa de control especificado	

ABORT Termina la ejecución de un programa después de haber completado la instrucción que estaba realizando al recibir el comando

ABORT

DO<Instrucción de Programa> Ejecuta la instrucción de programa especificada.

Instrucciones de programa.

Instrucciones de control de programa

CALL<Rutina> Transfiere el flujo del programa a la instrucción especificada
RETURN Termina la ejecución de la subrutina y regresa el flujo del programa a la siguiente instrucción al CALL que llamó a la subrutina.
GOTO<línea> Transfiere el flujo del programa al número de línea especificado
IF<Expresión lógica>GOTO<línea> Permite transferir el flujo del programa a una línea especificada siempre y cuando el valor de la expresión sea verdadero.
lógica
DELAY<T> Causa que el programa del robot se detenga durante el tiempo "T". La duración del delay puede tomar valores entre 0.01 a 900 seg.

Instrucciones de control de posición

HERE<locación> Define las coordenadas de la posición del robot con el nombre especificado en locación. (graba un punto). El nombre del punto es alfanumérico de 12 caracteres.
MOVE<locación> Mueve el robot a la posición y orientación descrita por locación. La trayectoria que sigue el robot para llegar a la posición es interpolada, por lo que se debe tener cuidado de que el robot no vaya a golpear algún objeto durante el recorrido.
RIGHTY y LEFTY Provoca un cambio en la configuración del robot, de tal forma que las primeras tres articulaciones asemejarán a un brazo derecho o izquierdo respectivamente.
SPEED<valor>(always) Provoca que el siguiente movimiento del robot sea ejecutado a la velocidad especificada en valor. Valor representa un porcentaje de la velocidad de operación normal (100%). El parámetro ALWAYS es opcional, provoca que todos los movimientos posteriores se ejecuten a esa velocidad, hasta que una nueva instrucción SPEED la modifique.

Instrucciones de control del "gripper"

OPENI y CLOSEI	Estas instrucciones provocan que el control neumático de las válvulas ejecute el movimiento de abrir y cerrar el gripper respectivamente.
<u>Instrucciones de señales de entrada y salida (I/O)</u>	
WAIT<valor> le entrada	Suspende la ejecución del programa hasta que el valor de la entrada especificada se cumpla. Si a la entrada denominada valor se agrega un signo menos (-) significa que se espera a que la entrada especificada se desactive.
SIGNAL<valor>,<valor>,....<valor>	Cambia el valor de la(s) salida(s) especificada(s). Si a la salida denominada valor se le añade un signo menos(-) significa que esa salida se desactivará.

Tabla 4 Instrucciones de programación del robot PUMA

3.1.6.6 Interfase

Cuando el sistema Puma forma parte de una celda automatizada de manufactura, depende de la comunicación con otros equipos para sincronizar sus funciones.

Para que el sistema Puma pueda utilizar las señales discretas como medio de interfase, requiere de un módulo I/O además del controlador. Cada módulo tiene capacidad para 8 señales del tipo I/O, y se pueden instalar hasta 4 módulos en un sistema Puma.

El módulo I/O puede recibir y encender señales de entrada, o puede generar señales de salida.

Las señales de entrada se denominan WX, y las señales de salida se denominan OX.

La parte inferior del módulo I/O contiene una hilera de focos (LEDs), una para cada señal de entrada/salida. Los focos se encienden cuando se activa la señal respectiva, y pueden utilizarse para monitorear la condición de cualquier señal.

Mediante la observación de los LEDs se puede detectar rápidamente el estado de cualquier circuito.

El sistema Puma de la celda AMATROL, cuenta con un módulo I/O, donde maneja las señales que se describen en la tabla siguiente:

Tabla 5

PUMA Mark II	
Señales externas de entrada (WX)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
1001	Pallet presente en la estación 2 ("pallet ready")
1002	Pallet presente en la estación 3 ("pallet ready")
1003	Señal de la fresa al robot PUMA
1004	Señal del torno al robot PUMA
1005	Límite de extensión del riel (hacia la fresa)
1006	Límite de retracción del riel (hacia el torno)
Señales externas de salida (OX)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
1	Señal de finalización de la tarea del robot para la estación 2 ("pallet done")
2	Señal de finalización de la tarea del robot para la estación 3 ("pallet done")
3	Señal de inicio para fresado
4	Señal de inicio para torneado
5	Señal de desplazamiento del robot hacia la fresa.
6	Señal de desplazamiento del robot hacia el torno.
7	Señal de fijación a los rieles al término del desplazamiento hacia la fresa.
8	Señal de fijación a los rieles al término del desplazamiento hacia el torno.

Tabla 5. Señales de Entradas-Salidas (WX/OX) del Sistema PUMA

3.1.7 Robot MOVEMASTER EX-MITSUBISHI tipo RV-M1

El FMS cuenta con dos robots Mitsubishi tipo RV-M1. Uno de ellos se encuentra instalado frente a la estación número 5, la función que desempeña es básicamente la de colocar y retirar piezas en el Gauge para su medición. El

segundo robot esta instalado sobre un eje móvil frente a la estación número 6, se utiliza para ensambles de piezas y como controlador del sistema de visión.

3.1.7.1 Componentes principales.

El sistema del robot Movemaster EX-Mitsubishi consta de lo siguiente:

- Brazo electro-mecánico tipo RV-M1
- Unidad de manejo "Drive-unit "D/U-M1
- Control maestro alámbrico "teaching box" T/B-M1

Estos componentes aparecen en la figura 29

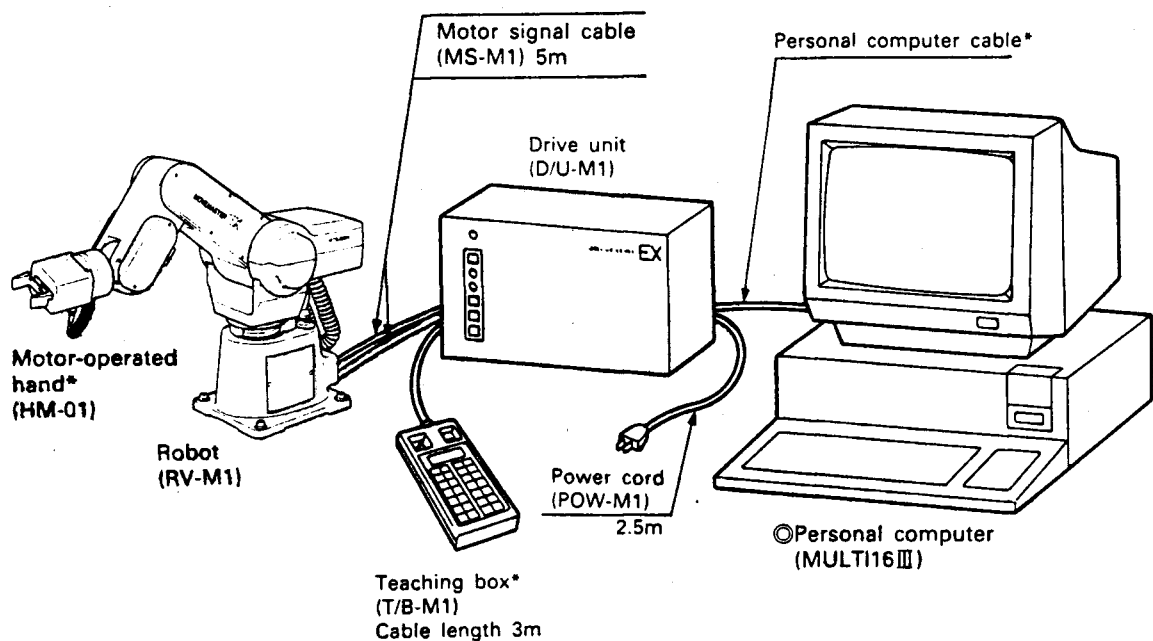


Fig. 29 Componentes del sistema Mitsubishi RV-M1

3.1.7.2 Brazo electro-mecánico

Es un brazo de tipo vertical articulado, a semejanza del brazo humano. Tiene 5 ejes o grados de libertad. En la figura 30 aparecen los movimientos de cada eje y el nombre con el que se les identifica.

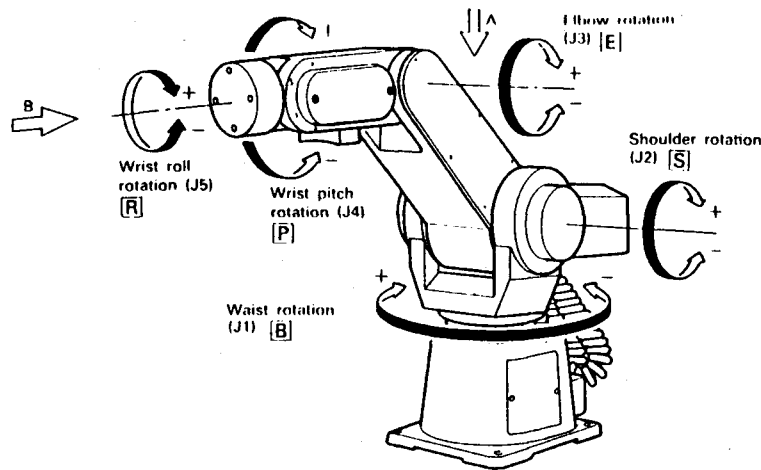


Fig.30. Brazo electro-mecánico del Mitsubishi

El sistema de impulsión de las articulaciones es por medio de servomotores eléctricos de corriente directa (CD), permitiéndole una repetibilidad de posición de 0.3 mm.

Se puede desplazar a una velocidad máxima de 1000 mm/seg, y tiene una capacidad de carga máxima de 1.2 kgf. incluyendo el peso del efector final ó mano del robot, que comúnmente se le denomina "gripper". Este "gripper" funciona eléctricamente.

El Movemaster EX-Mitsubishi tiene un volumen de trabajo aproximadamente esférico, dentro del cual realiza todos sus movimientos; para el buen funcionamiento del robot es necesario que este espacio se encuentre libre de obstáculos .

En la figura 31 se muestra el mapa de todos los movimientos posibles dentro del espacio de operación.

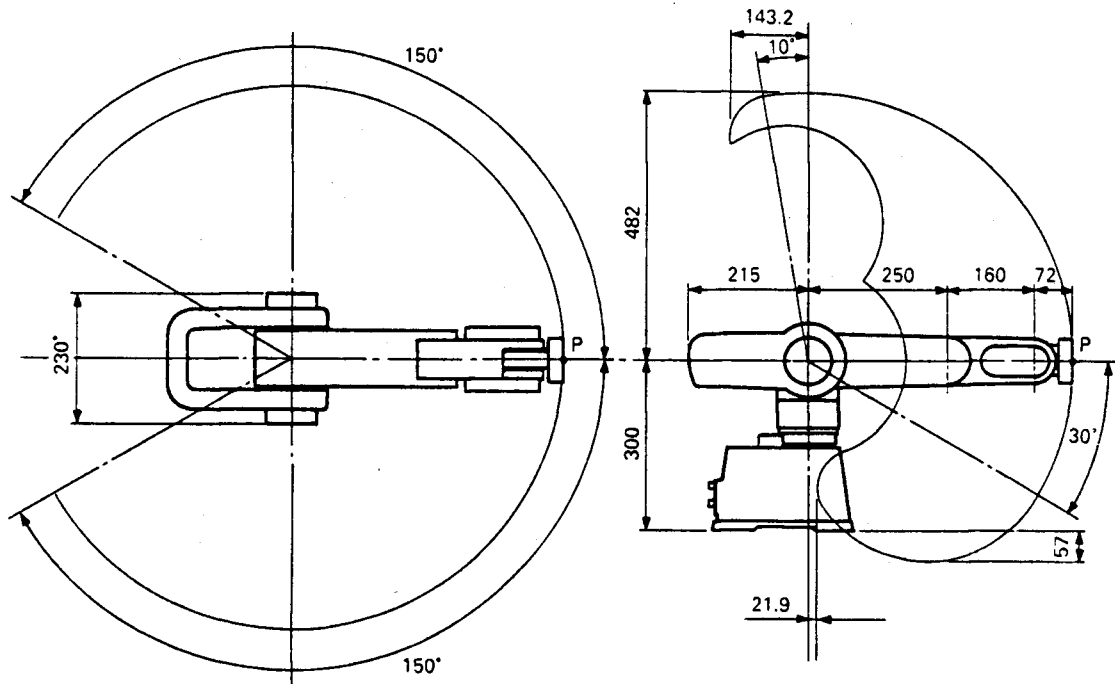


Fig. 31 Mapa de movimientos del brazo del robot Mitsubishi

3.1.7.3 Software

Las instrucciones de programación y las funciones del pendant se describen en la tabla 6.

Tabla 6

MITSUBISHI	
<u>Funciones del pendant</u>	
ON/OFF	Habilita a deshabilita las teclas del pendant. Las teclas del pendant deben estar deshabilitadas durante la ejecución de un programa o cuando el robot está siendo controlado por una computadora remota.
INC(+ENT)	Mueve el robot a una posición predefinida con un número mayor que el presente.
DEC(+ENT)	Mueve el robot a una posición predefinida con un número de posición menor que el presente.

P.S.(+número +ENT) Define las coordenadas de la posición presente del robot con el número especificado. Graba un punto. El rango de valores posibles es de 1 a 629

P.C.(+número +ENT) Elimina la posición definida con el número indicado.

NST(+ENT) Lleva al robot al origen

MOV(+ Número +ENT) Mueve el actuador del robot a la posición definida por 'número'

PTP Selecciona la operación jog articulada. Permite mover el robot en sólo una de sus articulaciones

XYZ Selecciona la operación jog cartesiana. Permite mover el robot a través del eje cartesiano de la base sin perder la orientación del efector.

Las siguientes teclas especifican en cual eje cartesiano o articulación se debe mover el robot después de haber seleccionado XYZ o PTP respectivamente.

X+/B+/X-/B- Mueve el actuador del robot en sentido positivo/negativo al eje X. Mueve la base del robot en sentido opuesto/a favor a las manecillas del reloj (articulación 1)

Y+/S+/Y-/S- Mueve el actuador en sentido positivo/negativo al eje Y. Mueve el hombro del robot hacia arriba/abajo (articulación 2)

Z+/E+/Z-/E- Mueve el actuador en sentido positivo/negativo al eje z. Mueve el codo del robot hacia arriba/abajo (articulación 3)

P- Mueve el actuador del robot hacia abajo (articulación 4)

R+/R- Gira el actuador del robot a favor/contra de las manecillas del reloj (articulación 5)

O/C Abre/cierra el gripper del robot

Instrucciones de programa

Instrucciones de control de posición/movimiento

MO<pos>(,O/C) Mueve el actuador a una posición especificada en 'pos'. Los parámetros O/C son opcionales e indican que la mano se debe abrir o cerrar, respectivamente, antes de realizar el movimiento del actuador.

MS<pos>,<n>. Mueve el actuador a la posición especificada en 'pos', pasando a través de un punto intermedio definido en 'n'

NT Regresa al robot a la posición de origen. (NEST)

SP<vel>(,H/L) Fija la velocidad de operación y el tiempo de aceleración/desaceleración para el robot. El parámetro 'vel' indica la velocidad de operación (9 máx, 0 min). Los parámetros H/L indican la aceleración (H:alta, L:baja)

TI<T> Suspende el movimiento del robot durante el período de tiempo especificado en 'T'. El rango de 'T' es de 0.1 a 3,276.7 segundos.

Instrucciones de control del programa

ED Finaliza la ejecución de un programa

EQ<val>,<línea> Este comando hace que ocurra un salto condicional si el valor del registro interno es igual al valor especificado en 'val'. 'Línea' es el número de línea hacia donde saltará el programa.

GS<línea> Permite que el programa haga un salto a la subrutina que empieza en la línea especificada

GT<línea> Permite que el programa haga un salto incondicional al número de línea especificado

LG<val>,<línea> Este comando hace que ocurra un salto condicional si el valor del registro interno es mayor al parámetro especificado en 'val'. 'Línea' es el número de línea hacia donde saltará el programa.

SM<val>,<línea> Este comando hace que ocurra un salto condicional si el valor del registro interno es menor al valor especificado en 'val'. 'Línea' es el número de línea hacia donde saltará el programa.

Instrucciones de control del gripper

GC Permite cerrar el gripper del robot

GO Permite abrir el gripper del robot

Instrucciones de señales de entrada y salidas (I/O)

ID Lee el puerto de entradas y actualiza el registro interno de comparación. Ese valor es usado para probar y comparar bits. (EQ,NE,LG,SM,TB)

IN Hace llegar sincronizadamente las señales del puerto de entrada.

OB <+/-><bit> Fija el estado de salida del bit especificado. El signo positivo indica que el bit se encenderá; el signo negativo indica que el bit se apagará.

TB<+/-><bit>,<línea> Este comando hace que ocurra un salto condicionado al estado del bit especificado. El salto se efectuará a la línea indicada.

Tabla 6 Instrucciones de programación del Mitsubishi

3.1.7.4 Interfase

La unidad de manejo D/U-M1, es la encargada de la interfase entre la computadora y el brazo de ensamble.

La interfase que emplea es del tipo RS-232, que viene siendo la estándar para los equipos de comunicación de datos que utilizan una sola línea y que contienen el estándar para la transmisión de datos serial de la computadora a su equipo periférico; es decir, los datos se envían de bit en bit (serial).

3.1.7.5 Interfase I/O

El robot Movemaster EX-Mitsubishi está provisto de una tarjeta electrónica I/O A8 con 8 entradas/salidas, para manejar las señales por medio de las cuales tiene interfase y controla los dispositivos externos al robot, como son el sistema de control de calidad, pistones sujetadores y los posicionadores de la banda transportadora. Estas señales se describen a continuación.

Tabla 7

Mitsubishi instalado en la estación 5	
Señales de Salida (O)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
0	Pallet procesado ("pallet done")
3	Listo para empezar medición del Sist. de C.C.
4	Cierra pistón sujetador de la pieza
5	Cierra barras del Sist. de Control de Calidad.
Señales de Entrada (I)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
0	Pallet presente en estación 5 ("pallet ready")
3	Medición del Sistema de C.C. realizada

Tabla 7 Señales de Entrada/Salida del Mitsubishi estación 5

Tabla 8

Mitsubishi instalado en la estación 6	
Señales de Salida (O)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
0	Pallet procesado ("pallet done")
1	Listo para empezar inspección del Sist. Visión
2	Cierra pistón sujetador
3	Cierra sujetadores
4	Desplazamiento de extensión en riel (hacia el AS/RS)
5	Desplazamiento de retracción en riel (desde el AS/RS)
Señales de Entrada (I)	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
0	Pallet presente en la estación 6 ("pallet ready")
1	Inspección del sistema de Visión realizada
4	Switch del límite de extensión en el riel.
5	Switch del límite de retracción en el riel

Tabla 8. Señales de Entrada/Salida del Mitsubishi estación 6

3.1.8 Robot JUPITER XL

El robot Júpiter XL se encuentra instalado frente a la estación número 4. La función que desempeña en la celda es la de realizar ensambles verticales.

3.1.8.1 Componentes

El sistema del Júpiter XL consta de cinco partes principales:

- Controlador del robot (899-CC4)
- Amplificador (899-DCSR4)
- Brazo del robot (830-ER4-54)
- Control alámbrico (825-TP)
- Software (C/ROS)

En la figura 32 aparece el brazo del robot

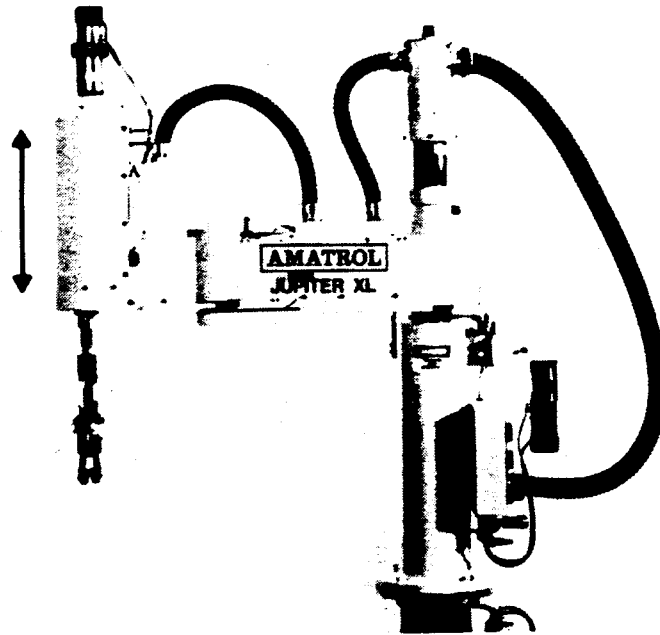


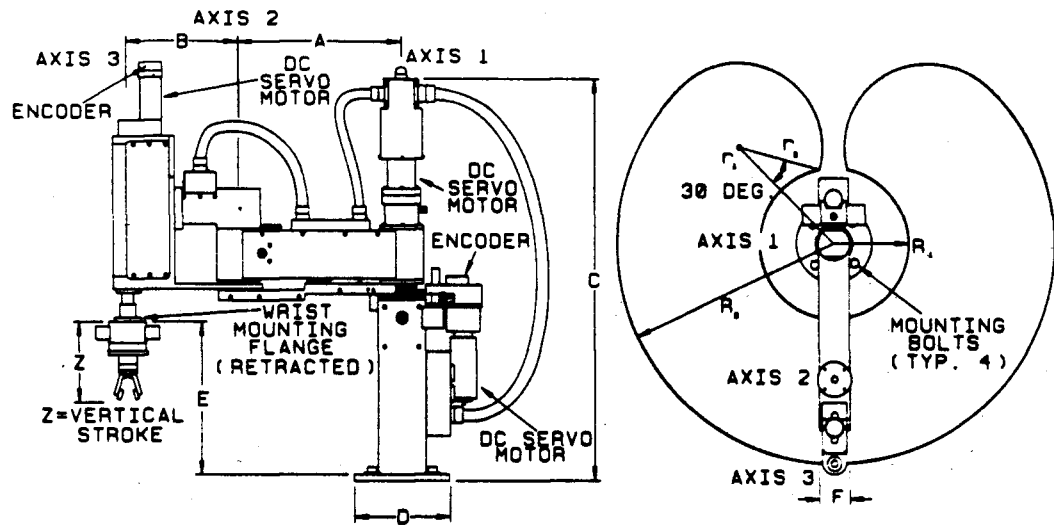
Fig 32. Brazo del Robot Júpiter XL

3.1.8.2 Brazo del robot

La configuración del brazo del robot Jupiter corresponde a la denominada SCARA, que viene siendo la versión horizontal del robot de brazo articulado, es decir, las articulaciones de hombro y de codo giran alrededor de ejes verticales.

SCARA es la abreviatura de Selective Compliance Assembly Robot Arm, y ésta configuración proporciona una importante rigidez para el robot en la dirección vertical, pero una elasticidad en el plano horizontal. Esto lo hace ideal para tareas de montaje con tolerancias muy pequeñas.

El brazo del robot Jupiter tiene 4 ejes de movimiento, los cuales se ilustran en la figura 33; la función y rango de operación de cada eje aparecen en la tabla 9.



	A	B	C	D	E	F	R ₁	R ₂	R ₃	Z
INCHES	16	10	10.50	9	16	9.75	10	26	16	10

Fig. 33. Ejes de movimiento del Robot Jupiter

Tabla 9

	<u>Recorrido</u>	<u>Movimiento</u>
Eje 1	arco de 270	Rotacion parcial (twist)
Eje 2	arco de 270	Rotación parcial
Eje 3	arco de 360	Rotacional
Eje 4	lineal de 8"	vertical

Tabla 9. Ejes de Movimiento del Robot Jupiter

El volumen de trabajo es de tipo cilíndrico y aparece en la figura siguiente:

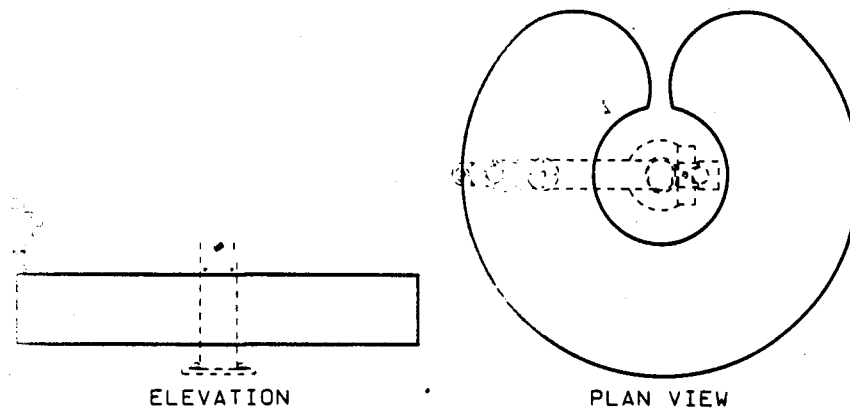


Fig.34. Volumen de trabajo del Robot Jupiter

3.1.8.3. Software

El sistema utiliza un lenguaje automatizado de control denominado ACL (Automation Control Language), el cual además de ser poderoso, es fácil de usar. Está diseñado específicamente para el control de sistemas automatizados.

El ACL está basado en el lenguaje Basic-científico y combina el uso amigable, aritmética sofisticada, lógica, control de movimientos y capacidad de interfase con el usuario.

El sistema operativo del Júpiter emplea el software denominado C/ROS (Cyber/Robot Operating System), que aparece en la figura 35 ; el cual es una versión especial del ACL que fué creada especialmente para el control de robots. Este software está diseñado para utilizarse con el hardware 899-C/C del controlador.

Las funciones del pendant, los comandos de programación y su descripción aparecen en la tabla 10.

Fig. 35. Mapa del Menú del software C/ROS

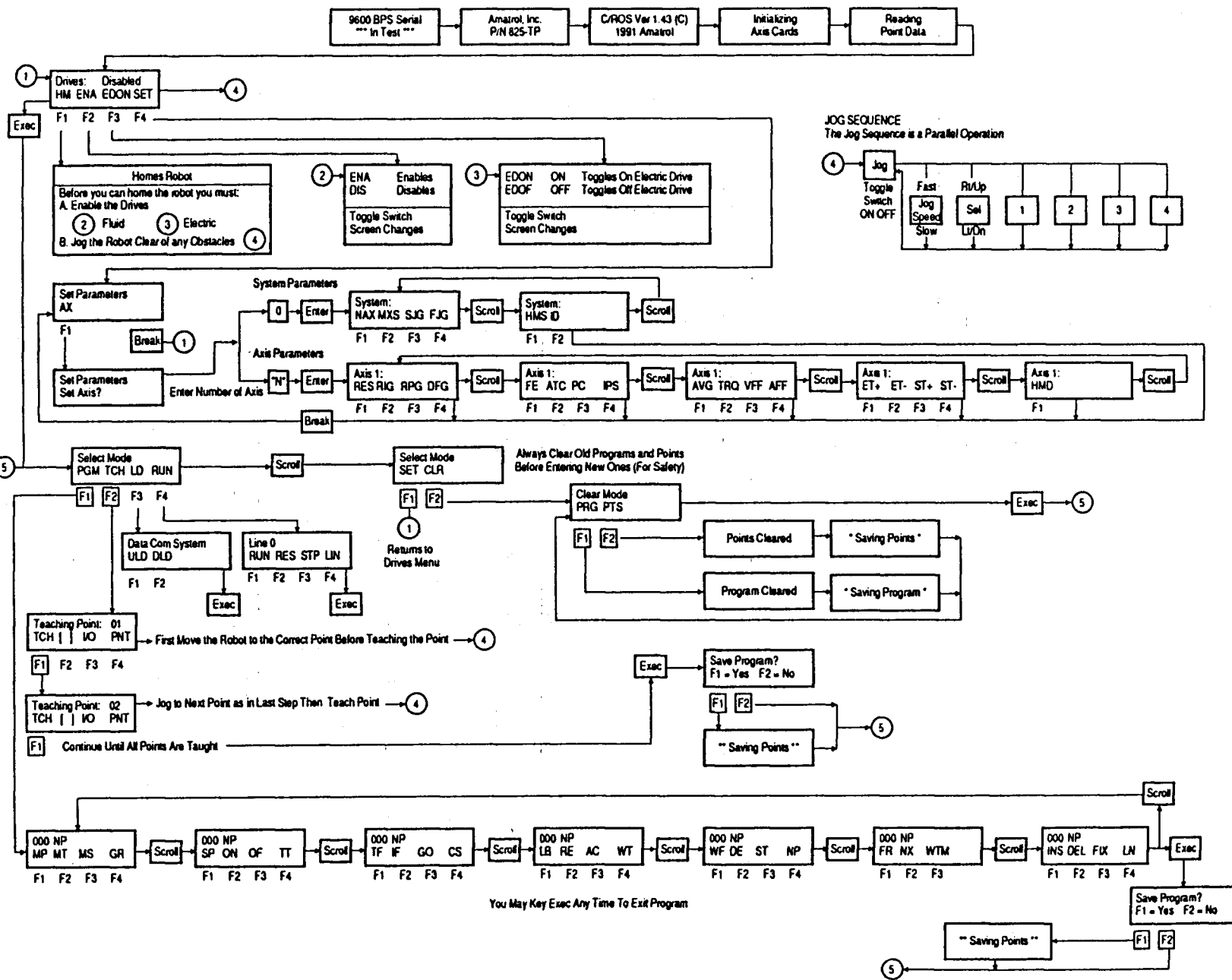


Tabla 10

JUPITER	
<u>Funciones del pendant</u>	
F1,F2,F3,F4	Teclas de funciones que permiten seleccionar una de las opciones que se muestran en el renglón inferior de la pantalla.
BREAK	Permite regresar al menú anterior
SCROLL	Permite visualizar el resto del menú actual
JOG	Selecciona el modo JOG, utilizado para mover las articulaciones.
SEL	Selecciona la dirección del movimiento de las articulaciones
JOG SPEED	Selecciona la velocidad del movimiento del robot
<p>Para mover las articulaciones es necesario haber seleccionado el modo JOG y pulsar el número de la articulación que se desea activar.</p>	
<u>Instrucciones de programación</u>	
<u>Instrucciones de posición/movimiento del robot</u>	
MP<locación>	Indica al robot el punto al cual se debe mover (0-94).
MT<locación>	Movimiento a través de la posición indicada (0-94)
MS(locación)	Movimiento a partir de la posición indicada (0-94)
GR<0/1>	Abre(0) o cierra(1) el gripper
DE<T>	Suspende la ejecución de un programa durante "T" décimas de segundo (0-255)
SP<Vel>	Establece la velocidad del sistema (0-255)
<u>Instrucciones de control de programa</u>	
IF<>, <línea>	Provoca un salto condicional a la línea indicada
GO<línea>	Provoca un salto a la línea indicada (0-99)
CS<subrutina>	LLama a una subrutina

LB<subrutina>	Permite etiquetar una subrutina para que pueda ser referenciada por CS (0-99)
RE	Indica que termina una subrutina. El programa de control regresa a la siguiente instrucción después del CS
NP	No operación
<u>Instrucciones de señales de entrada y salida (I/O)</u>	
ON<salida>	Enciende la salida indicada. El número de la salida se especifica en el campo 'salida'(0-15)
OF<salida>	Apaga la salida indicada. El número de la salida se especifica en el campo 'salida' (0-15)
TT<entrada>	Prueba si una entrada es verdadera. El Número de la entrada se especifica en el campo 'entrada'
TF<entrada>	Prueba si una entrada es falsa. El Número de la entrada se especifica en el campo 'entrada'
WT<entrada>	Suspende la ejecución del programa hasta que una entrada es verdadera. El número de la entrada se especifica en el campo 'entrada'
WF<entrada>	Suspende la ejecución del programa hasta que una entrada es falsa. El número de la entrada se especifica en el campo 'entrada.'
WTM<entrada>	Espera que se encienda la señal especificada en 'entrada' para iniciar la ejecución del programa.

Tabla 10. Instrucciones de Programación del Robot Jupiter

3.1.8.4. Interfase

El controlador del robot (899-CC) puede comunicarse con otros equipos intercambiando señales discretas a través de un conector RS-232 serial.

El tipo de ensamblajes que realiza este robot requiere de bastante precisión, por lo que necesita coordinarse perfectamente con varios

dispositivos además del transportador; tales como: el portaherramientas, el pistón sujetador de piezas, los alimentadores, y el sistema de visión.

Las señales de entrada y salida (I/O) que emplea actualmente son las siguientes:

Tabla 11

<u>Señales de Salida (O)</u>	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
2	Activa el compresor de aire
3	Abre pinzas o atornilla
4	Activa el aire para el desarmador
6	Sujetadores y guía de la tarjeta
7	Pistones de los módulos alimentadores
10	Señal de inspección al sistema de Visión
11	Actividad del robot ejecutada ("pallet done")
<u>Señales de Entrada (I)</u>	
<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
2	Herramienta colocada
3	Herramienta Num 1 en la estación
4	Herramienta Num 2 en la estación
5	Herramienta Núm 3 en la estación
6	Pistón Num 4 con piezas
7	Pistón Num 3 con piezas
8	Pistón Num 2 con piezas
9	Pistón Num 1 con piezas
10	Inspección del sistema de Visión efectuada
11	Pallet presente en estación 4 ("pallet ready")

Nota: Las señales que no aparecen en la tabla no están activadas

Tabla 11 Señales de Entrada/Salida del Robot Jupiter

3.1.9 Sistema De Vision 866-Vs

El sistema 866-VS tiene dos cámaras que funcionan individualmente, una está ubicada en el robot Júpiter y se utiliza para verificar el ensamble de las piezas procesadas por este robot, la otra se encuentra ubicada en la estación número 6 sobre la banda transportadora y es auxiliada por un posicionador de pallets que le permite la inspección de los productos antes de abandonar el sistema de manufactura.

Al revisar los productos, con cualquiera de las cámaras, el sistema de visión despliega un mensaje en el monitor, anunciando si el producto cumplió o no con las especificaciones requeridas.

3.1.9.1. Componentes del sistema

El sistema de inspección por visión 866-VS consta de los siguientes componentes:

- Computador de visión 866-VS
- Monitor blanco y negro
- Cámara(s)
- Sistema de iluminación
- Palanca de control (joystick)

En la figura 36 aparece el sistema de visión 866-VS

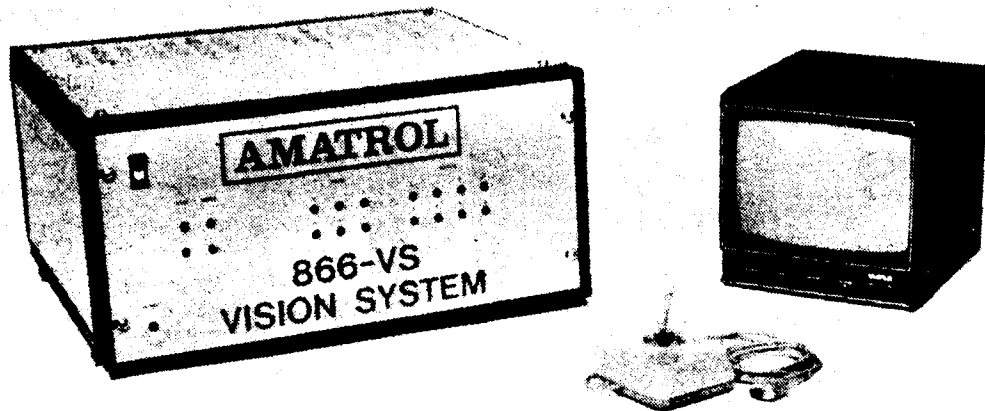


Fig. 36 Componentes del Sistema de Visión 866-VS

3.1.9.2. Funcionamiento del sistema.

El sistema está diseñado para trabajar mediante contrastes de color. La imagen captada por la cámara, se descompone en miles de elementos

individuales llamados pixels. Cada pixel tiene un brillo o color particular, el cual provee cierto contraste que se puede captar y medir por el sistema de visión.

Las piezas se inspeccionan de acuerdo a un estándar establecido y para hacerlo, se requiere de dos componentes: la preparación o "setup" y el programa de control. En el "setup" se selecciona el método de inspección que será utilizado y el programa de control origina que la inspección sea realizada en el tiempo preciso y que el resultado de la inspección se incorpore al sistema para determinar si el producto cumple o no con los estándares.

La computadora de visión no ejecuta la rutina de inspección a menos que se le indique con un comando en el programa de control.

El "setup" viene siendo la rutina misma de inspección que la computadora lleva a cabo. Esta rutina, es creada por el programador en la computadora del sistema de visión y debe ser enviada a la computadora central para guardarla permanentemente; ya que la computadora del sistema de visión sólo puede almacenar una rutina a la vez.

3.1.9.3. Métodos de inspección.

El sistema de visión de AMATROL 866-VS ofrece cuatro métodos diferentes para inspección.

3.1.9.3.1. Método de zona binaria.

En este método, la computadora examina la brillantez de cada pixel de imagen y lo compara con un valor de umbral o límite que define la persona que realiza la rutina de setup. El nombre de este método se debe a la asignación de valores lógicos a los pixels por encima o por debajo del nivel de referencia. A los pixels que tienen una brillantez mayor o igual al valor de umbral se les asigna un valor que representa un "1" lógico, y todos aquellos que se encuentren debajo de este umbral, se les asignará un valor correspondiente a un "0" lógico.

Después de realizar la asignación de valores, éstos se promedian para comparar el resultado contra el valor de umbral asignado por el programador, para dar como resultado la aceptación o rechazo de la pieza.

Este método se utiliza principalmente para detectar la presencia o ausencia de algún elemento en el producto inspeccionado.

3.1.9.3.2. Método de zona sombreada.

Este método es similar al de zona binaria, con la diferencia de que a cada pixel se le asigna un valor de acuerdo a su brillantez en una escala continua, no sólo "0" y "1".

Con este método, se pueden medir diferentes niveles o tonos de gris dentro del producto.

3.1.9.3.3. Método de detección de orillas.

Este método de inspección encuentra la orilla de un objeto por comparación de brillo u oscuridad de las áreas adyacentes. La persona que realiza el setup, selecciona una muestra de la orilla o extremo de la pieza y la almacena en la computadora para utilizarla como referencia en el momento de la inspección.

3.1.9.3.4. Método de calibradores.

Este método se utiliza para realizar una medición lineal del artículo, o para medir alguna característica en la superficie del objeto que se encuentra en inspección. Al realizar el setup, se crea una línea de medición que será utilizada como estándar al momento de realizar la inspección.

3.1.9.3.5. Selección del método adecuado.

Cuando se está configurando una inspección, se debe tener en mente que es posible aplicar a una misma pieza varios métodos de inspección para evaluar distintas características.

Para seleccionar un método, se deben considerar los siguientes lineamientos generales:

- 1.- Cuando la inspección requiere detectar la presencia o ausencia de alguna parte o característica en la pieza, el método binario o el de zona sombreada deben ser suficientes para reconocer la característica. Si existe un alto contraste entre esta característica y lo que lo rodea, se debe utilizar una alta densidad de puntos de inspección para tener más precisión.
- 2.- Si se requiere detectar algún borde u orilla de cualquier tipo, se debe utilizar el método de detección de orillas.
- 3.- Si la pieza requiere de medición de alguna característica, por ejemplo, el diámetro de orificios, se debe emplear el método de calibradores.

3.1.9.4. Software

La computadora de visión tiene instalado el software para crear el "setup", éste, ofrece varios menús donde se presentan todas las opciones posibles. En la figura 37 aparecen los menús principales.

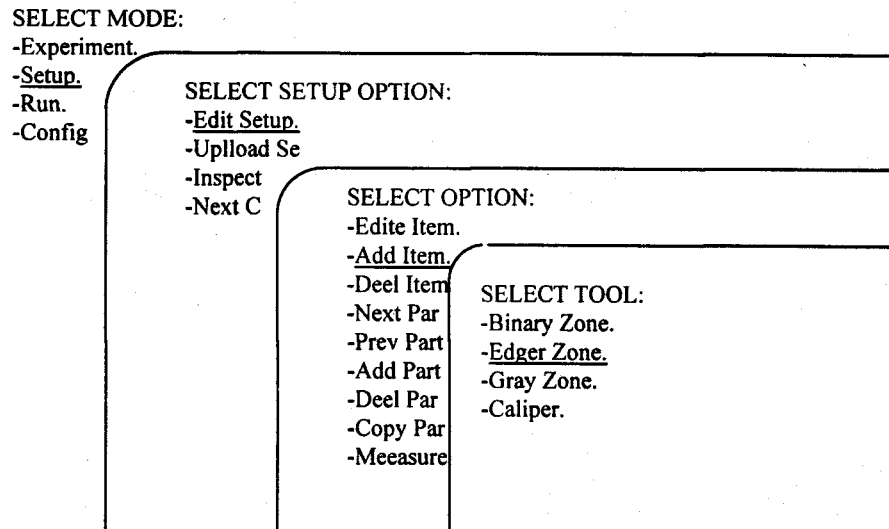


Fig. 37. Menús para crear un “setup” en el sistema de Visión 866-VS

La palanca de control (joystick), se utiliza para acceder todos los menús de la computadora de visión.

Todos los programas de control del equipo de visión se crean en la computadora central, empleando el software AMNET, es decir, no pueden hacerse en la computadora de visión.

El lenguaje de programación consiste de instrucciones predefinidas que describen la función del comando, por lo que su utilización no presenta ninguna dificultad. En tabla 12 se describen los comandos de visión.

Tabla 12

SISTEMA DE VISION	
Select Camera (0,1)	Selecciona la cámara que se utilizará en la inspección
Analyze image	Ejecuta el proceso de inspección
Jump if passed	Si pasa la inspección, el programa salta a la etiqueta especificada (0-99)
Jump if failed	Si no pasa la inspección, el programa salta hasta la etiqueta especificada(0-99)
Label	Sirve para etiquetar líneas del programa (0-99)
Delay	Demora en décimas de segundo (0-99)
Output on	Enciende o activa una señal de salida (0-15)
Output off	Desactiva una señal de salida (0-15)

Wait input on	Espera que se active la señal de entrada especificada (0-15)
Wait input off	Espera que se desactive la señal de entrada especificada (0-15)

Tabla 12. Instrucciones de Programación del Sistema de Visión 866-VS

3.1.9.5. Interfase

Como todo el equipo que forma parte de la celda AMATROL, el sistema de visión 866-VS emplea el intercambio de señales discretas del tipo I/O como interfase.

La comunicación entre el transportador o cualquier otro equipo y el sistema de visión es a través del intercambio de señales del tipo "pallet ready" y "pallet done". La secuencia en la cual se deben incluir en el programa de control las instrucciones relacionadas con las señales es muy similar a la de otros equipos.

Desde el punto de vista del sistema de visión, es la siguiente:

- 1.- Esperar que se encienda una señal "pallet ready"
- 2.- Desarrollar los pasos indicados en el programa de inspección
- 3.- Encender la señal "pallet done"
- 4.- Esperar que se apague la señal "pallet ready"
- 5.- Apagar la señal "pallet done"

Según la condición actual de la conexión física de los cables entre el sistema de visión y el equipo con el cual se comunica, las señales del tipo I/O son las que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13

Sistema de vision 866-VS	
<u>Señales de Entrada (I)</u>	
<u>Núm.</u>	<u>Descripción</u>
10	Empieza inspección en Estn 4 ("pallet ready")
1	Empieza inspección en Estn 6 ("pallet ready")
<u>Señales de Salida (O)</u>	
<u>Núm.</u>	<u>Descripción</u>
10	Pallet procesado ("pallet done")
1	Inspección realizada

Tabla 13. Señales de Entrada/Salida del Sistema de Visión

3.1.10 Centro de Maquinado Vertical

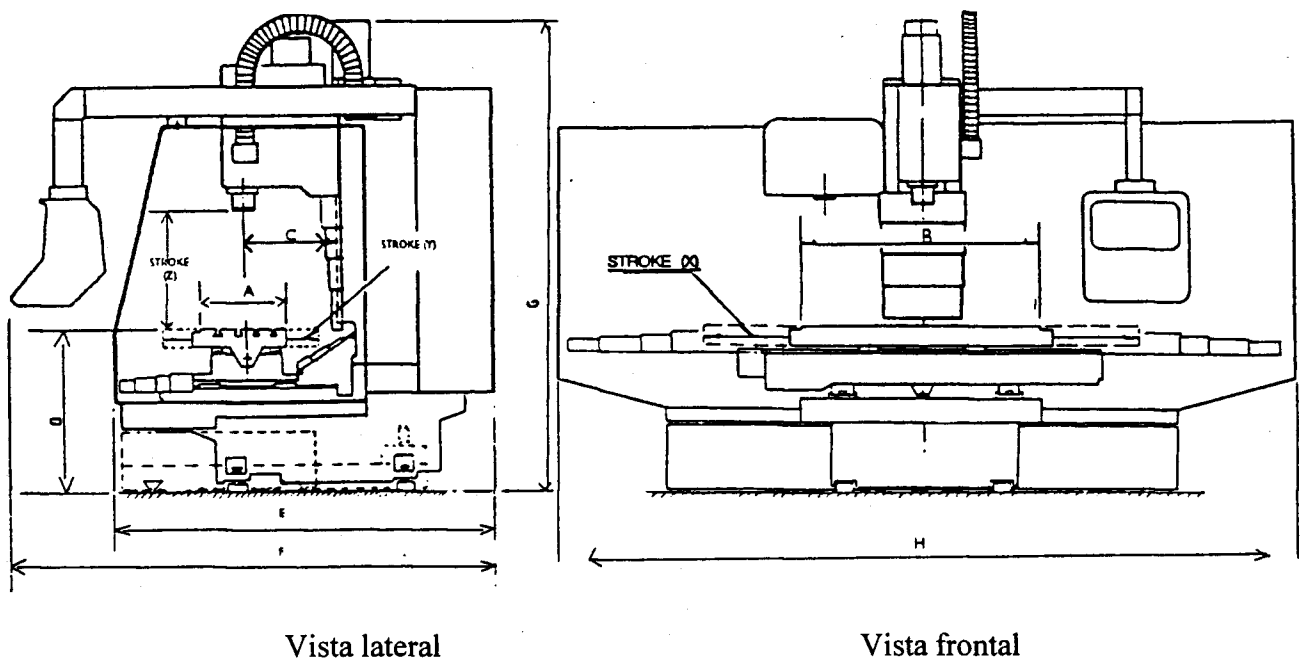
Modelo VMC 535 de la marca KRYLE

Se encuentra instalada cerca de la estación número 2 de la celda AMATROL. Su función es la de realizar diversos trabajos de fresado en las piezas que lo requieren.

3.1.10.1 Descripción física.

Es un centro de maquinado vertical (VMC) de control numérico computarizado (CNC), que tiene 3 ejes de movimiento que pueden controlarse simultáneamente.

En la figura 38 aparece la fresadora KRYLE y sus dimensiones externas.



Máquina	Unidades	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
VMC535	Centímetro	40	65	46	82.5	204.8	261.5	240	190	50	41	51

Fig. 38. Centro de Maquinado Vertical VMC-535

La capacidad de carga máxima es de 750 kg., pero, cuando se usa de manera integrada con la celda AMATROL únicamente maquina piezas ligeras (de 4 kg. aproximadamente), ya que depende de la capacidad de carga del robot PUMA.

La tabla de trabajo mide 650 mm x 450 mm y el recorrido posible sobre los ejes de movimiento es el siguiente:

Tabla 14

Eje	Recorrido
X	535 mm
Y	450 mm
Z	450 mm

Tabla 14 Recorrido de los ejes de movimiento de la fresadora VMC 535

En la figura 39, se muestran los ejes de movimiento y se indica el sentido de los mismos.

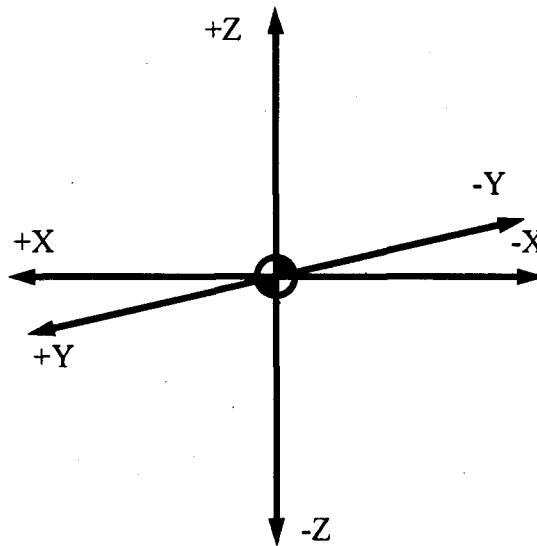


Fig. 39 Ejes de movimiento del VMC-535 (Vista frontal)

- | | | | |
|-----|-------------------------|-----|-------------------------|
| + X | Mov. hacia la izquierda | - X | Mov. hacia la derecha |
| + Y | Mov. hacia el operador | - Y | Mov. lejos del operador |
| + Z | Mov. hacia arriba | - Z | Mov. hacia abajo |

Respecto al sentido positivo o negativo de los ejes, es muy importante tener en cuenta que los movimientos que se programan en la máquina, se refieren al movimiento de la herramienta respecto a la pieza, y no al movimiento de la mesa de trabajo.

La fresadora VMC 535 está equipada con un cambiador automático de herramientas, con capacidad para almacenar hasta 16 herramientas.

Las herramientas que se pueden almacenar en este cambiador, pueden tener como máximo, un diámetro de 110 mm., una longitud de 250 mm y un peso de 6 kg.

3.1.10.2. Programación

El lenguaje de programación que utilizan la mayoría de las máquinas de CNC es muy similar.

Un programa corresponde a un conjunto de operaciones de maquinado que se realizan sobre una pieza.

3.1.10.2.1. Palabra.

Las "palabras" de un programa, representan una orden que se dá a la máquina herramienta de CNC, y se componen de una letra o etiqueta, un signo y un módulo. La letra o etiqueta, es el símbolo de identificación de la palabra; el signo, indica el sentido del desplazamiento; y el módulo, es un valor numérico variable.

A continuación, se presenta un ejemplo de "palabra" de una programa.

Y	+	46350
---	---	-------

3.1.10.2.2. Bloque

Un bloque de información es un grupo de palabras que comprende todas las instrucciones para una operación o secuencia de maquinado. Un bloque se compone de una serie de letras y caracteres cuyo significado es el siguiente:

Nca	Número de la secuencia en curso
Gca	Código o función principal. Predispone a la máquina herramienta de control numérico para un ciclo en particular
X+ca	Desplazamiento sobre el eje X, sentido y amplitud
Y+ca	Desplazamiento sobre el eje Y, sentido y amplitud
Z+ca	Desplazamiento sobre el eje Z, sentido y amplitud
Fca	Avance
Sca	Velocidad de rotación del husillo principal.
Tca	Número de herramienta
Mca	Función auxiliar

ca = caracter

Los códigos o funciones, pueden variar de una máquina a otra, o de una fabricante a otro; los que utiliza la fresadora KRYLE VMC 535, aparecen en tabla 15.

Tabla 15

TORNO Y CENTRO DE MAQUINADO VERTICAL	
<u>Códigos G</u>	
G00	Movimiento rápido de posicionamiento
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular a favor de las manecillas del reloj
G03	Interpolación circular en contra de las manecillas reloj
G04	Demora o espera en segundos (temporización)
G10	Fijar datos
G17	Selección del plano XY
G18	Selección del plano XZ
G19	Selección del plano YZ
G20	Entrada de datos en pulgadas
G21	Entrada de datos en milímetros
G27	Regresa a checar punto de referencia
G28	Regresa al punto de referencia
G31	Función de salto
G33	Ciclo de ranurado
G36	Compensación automática de herramienta en X (torno)
G37	Compensación automática de herramienta en Z (torno)
G39	Interpolación circular de esquinas (CMV)
G40	Cancelar compensación de radio de la herramienta
G41	Cancelar compensación de radio del lado izquierdo
G42	Cancelar compensación de radio del lado derecho
G43	Compensación de longitud de herramienta (CMV)
G49	Cancelar compensación de longitud de herramienta (CMV)
G54-59	Seleccionar un sistema de coordenadas para el trabajo
G65	LLamar un macro
G70	Ciclo de terminado (torno)
G76	Ciclo de roscado (torno)
G83	Ciclo de taladrado
G84	Ciclo de golpeteado

G86	Ciclo de taladrado (cara)
G89	Ciclo de taladrado (lado)
G90	Programación de medidas absolutas (CMV)
G91	Programación en medidas incrementales (CMV)
G94	Velocidad en pies/min (CMV)
G95	Velocidad en pies/revolución (CMV)
G96	Control de velocidad constante
G97	Cancela el control de velocidad constante
G98	Velocidad en pies/min (torno)
G99	Velocidad en pies/revolución (torno)
G98	Regresa al punto inicial en ciclo de expulsado (CMV)
G99	Regresa a un punto en ciclo de expulsado (CMV)
<u>Códigos M</u>	
M00	Detiene el programa
M01	Parada opcional del programa
M02	Fin de programa
M03	Inicia giro del husillo en sentido horario
M04	Inicia giro del husillo en sentido antihorario
M05	Detiene giro del husillo
M06	Cambio automático de herramienta
M10	Cierra el chuck (torno)
M11	Abre el chuck (torno)
M21	Gira portaherramientas hacia la izquierda (CMV)
M22	Gira portaherramientas hacia la derecha (CMV)
M25	Cierra el chuck del portaherramienta (CMV)
M26	Abre el chuck del portaherramienta (CMV)
M40	Cierra mordaza (CMV)
M41	Abre mordaza (CMV)
M46	Abre la puerta (CMV)
M47	Cierra la puerta (CMV)
M82	Se cierra la puerta (torno)
M83	Se abre la puerta (torno)
M98	LLama una subrutina
M99	Fin de subrutina

Tabla 15. Códigos y funciones de Programación del Torno y VMC

3.1.10.3 Interfase

La fresadora, tiene capacidad de comunicación con otros equipos por medio del intercambio de señales del tipo I/O. La secuencia en la que se deben incluir las instrucciones relacionadas con señales en el programa, es la que se describió anteriormente en la sección "Interfase del equipo CNC".

Las funciones auxiliares, que emplea actualmente para comunicarse son las siguientes:

Tabla 16

Función	Descripción
M42	Esperando señal del robot PUMA

Tabla 16. Funciones empleadas para interfase en el VMC-535

3.1.11. Torno

KRYLE Modelo KL 200

El torno Kryle se encuentra instalado frente a la estación número 3 de la celda AMATROL.

3.1.11.1. Descripción física.

El modelo KL 200 está diseñado para realizar trabajos con bastante precisión y con una alta tasa de productividad. Tiene dos ejes de movimiento X, Z. Estos, se muestran en la figura 40, donde se indica la dirección del movimiento que realiza la herramienta.

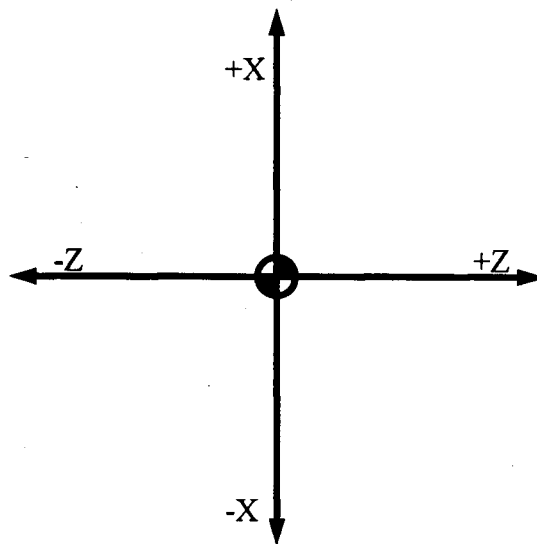


Fig.40. Ejes de movimiento del Torno KL-200(Vista frontal)

- + X Mov. lejos de la pieza - X Mov. hacia la pieza
 + Z Mov. lejos de la pieza - Z Mov. hacia la pieza

El recorrido sobre el eje X puede ser hasta de 120 mm., y sobre el eje Z hasta de 305 mm.

En la tabla siguiente aparecen algunas especificaciones importantes de capacidad.

Tabla 17

Máx. diámetro de giro	500 mm
Máx. diámetro de torneado	220 mm
Máx longitud de torneado	305 mm
Capacidad Diam. del mandril	169 mm

Tabla 17 Especificaciones de capacidad del torno KL-200

El área de trabajo, se muestra en la siguiente figura:

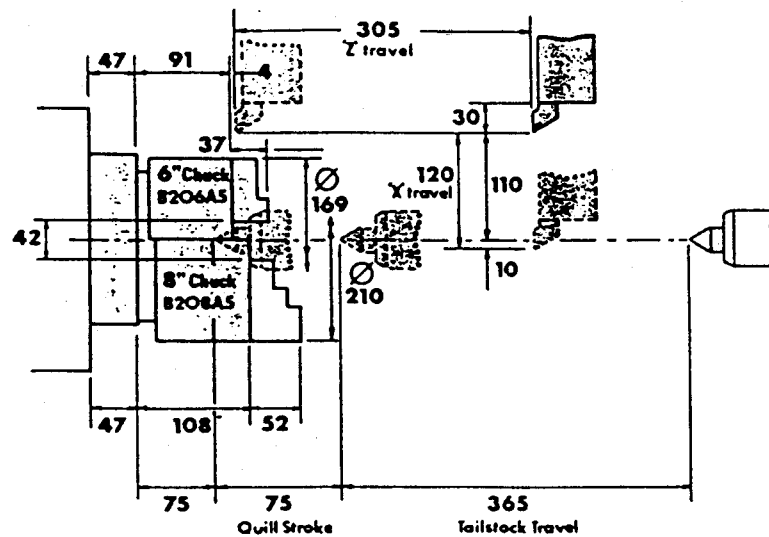


Fig. 41 Area de trabajo del torno KL-200

El torno Kryle KL 200 está equipado para cambiar automáticamente de herramienta. La torreta puede contener hasta 12 herramientas.

La estructura metálica, completamente cerrada de este modelo, lo hacen bastante voluminoso (2.10 mt de largo x 1.36 mt de ancho x 1.75 mt. de alto), además, pesa 2,700 kg. por lo que una vez instalado, es difícil reubicarlo.

3.1.11.2. Programación

La programación es similar a la de la fresadora Kryle VMC 535. Los comandos y funciones específicas del torno, aparecen en la tabla 15 de la página 90.

3.1.11.3. Interfase

Las funciones secundarias que emplea actualmente para comunicarse son las siguientes:

Tabla 18

Función	Descripción
M20	Espera señal del robot PUMA ("pallet ready")
M59	Envía señal al robot PUMA ("pallet done")

Tabla 18. Funciones empleadas en la interfase del torno KL-200

3.2 SELECCION DE PRODUCTOS

Para que un producto pueda considerarse como factible para ser manufacturado en el FMS, debe cumplir con las restricciones del sistema en cuanto a dimensiones, peso y operaciones requeridas, pero además se deben considerar las características de diseño del FMS; es importante tener claridad en cuanto a las familias de productos que el sistema es capaz de procesar.

En ocasiones se piensa equivocadamente que un FMS es capaz de procesar cualquier cosa, cuando en realidad la variedad de productos que se pueden manufacturar en cualquier FMS tiene un límite.

Este sistema está diseñado para procesar eficientemente tres familias diferentes de partes, por lo tanto, los nuevos productos deben poseer atributos de manufactura similares a alguna de las familias que están claramente definidas; o bien, el nuevo producto puede formar una nueva familia de partes si su secuencia de procesado se adapta a las características del sistema.

Para que el FMS funcione eficientemente, es importante considerar los preparativos que requiere cada equipo para procesar el nuevo producto, éstos deben poder realizarse en un tiempo mínimo para las partes de una misma familia, para permitir procesos intermezclados en corridas pequeñas, con lo cual se reduce el inventario en proceso y se entregan productos terminados con mayor frecuencia.

Para la selección de productos, se visitaron diversas empresas de la región identificando posibles candidatos para ser manufacturados en el FMS, esto se hizo con el fin de poder comparar resultados del desempeño del FMS respecto al proceso tradicional que se emplea para fabricarlos.

Los productos seleccionados en base a los criterios anteriores fueron los siguientes:

- 1).- Una tarjeta electrónica
- 2).- Una bisagra de diseño especial
- 3).- Una flecha torneada

3.3 PLANEACION Y DISEÑO DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Aunque se tenga disponible equipo automatizado y flexible, no se deben descuidar las etapas de diseño y planeación de los procesos de producción, ya que ambas tienen estrecha relación con el desempeño del sistema productivo, y con el costo del producto terminado.

El funcionamiento del sistema productivo sólo se puede mejorar dentro de las limitaciones del diseño de los procesos de producción.

3.3.1 Diseño para Manufactura.

Cada uno de los productos que se pretenden manufacturar deben ser analizados en base a sus especificaciones funcionales y al equipo disponible para procesarlos; tratando de reducir el número de partes y las operaciones no indispensables, se deben seleccionar las materias primas más adecuadas, y buscar procesos alternativos para tener mayor flexibilidad en la operación del sistema.

El diseño original de la bisagra constaba de 6 partes y 16 operaciones; el diseño modificado tiene 3 partes y 11 operaciones más sencillas, además resultó ser más eficiente en cuanto a funcionamiento.

Todas las partes de la tarjeta electrónica son indispensables, no se puede omitir ninguna de ellas; pero sí se puede modificar la secuencia de ensamblado de las mismas, de tal forma que se adapte al equipo disponible y permita reducir los cambios de efector para manipular las piezas, disminuyendo con esto el tiempo de ensamblado.

La flecha torneada requiere de un proceso muy sencillo, pero es importante cuidar que la materia prima que se utiliza cumpla con ciertas especificaciones en cuanto a dimensiones y terminado de sus caras.

3.3.2 Planeación de la manufactura.

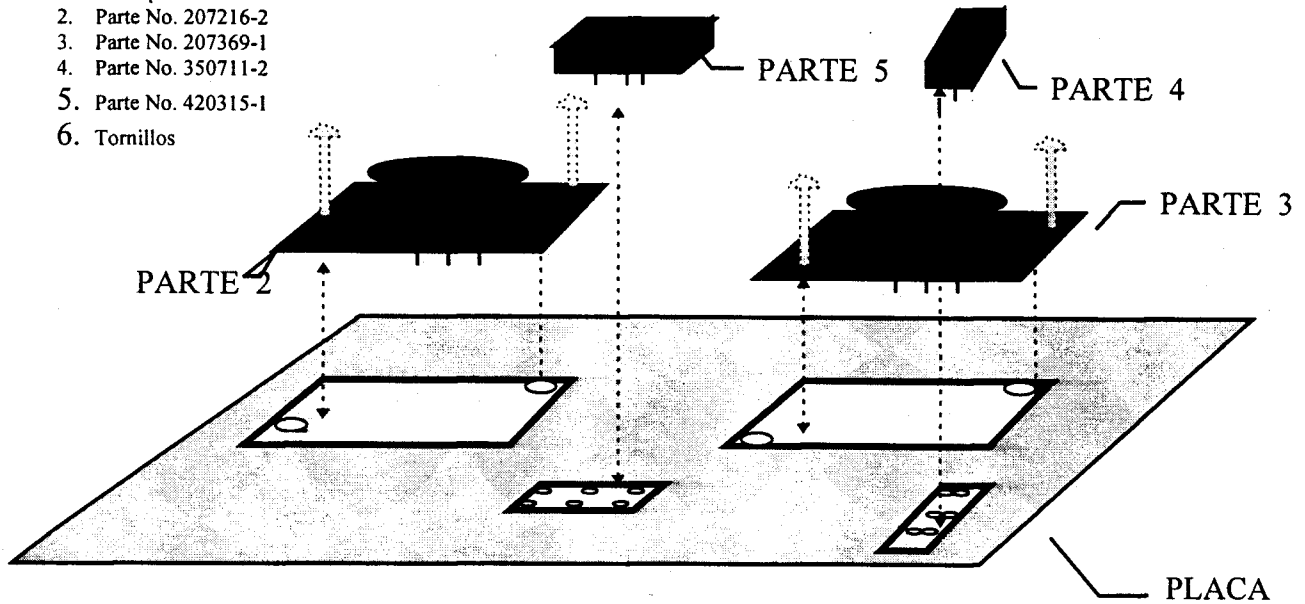
La utilización de modelos esquemáticos tales como: gráficas de ensamble, diagramas de operaciones y diagramas de proceso, ayudan a visualizar el flujo de materiales, las relaciones de las piezas y las estaciones donde deben ser procesadas o ensambladas; por lo que pueden ser un excelente apoyo para configurar los procesos en la computadora central, particularmente cuando los productos son complejos.

Los diagramas correspondientes a los productos seleccionados aparecen en las figuras 42 a la 46 que se ilustran en las siguientes páginas.

PRODUCTO: TARJETA ELECTRONICA

LISTA DE MATERIALES:

1. Placa para ensamble No. 21-402512-0
2. Parte No. 207216-2
3. Parte No. 207369-1
4. Parte No. 350711-2
5. Parte No. 420315-1
6. Tornillos



OPERACIONES REQUERIDAS: ENSAMBLES VERTICALES (DE ARRIBA HACIA ABAJO)

PRECISIÓN REQUERIDA PARA ENSAMBLE: 0.01 mm.

EQUIPO RECOMENDADO: ROBOT JUPITER, SISTEMA VISIÓN

HERRAMIENTAS REQUERIDAS: DESARMADOR ESTRELLA, EFECTOR A LA MEDIDA

GRAFICA DE ENSAMBLE:

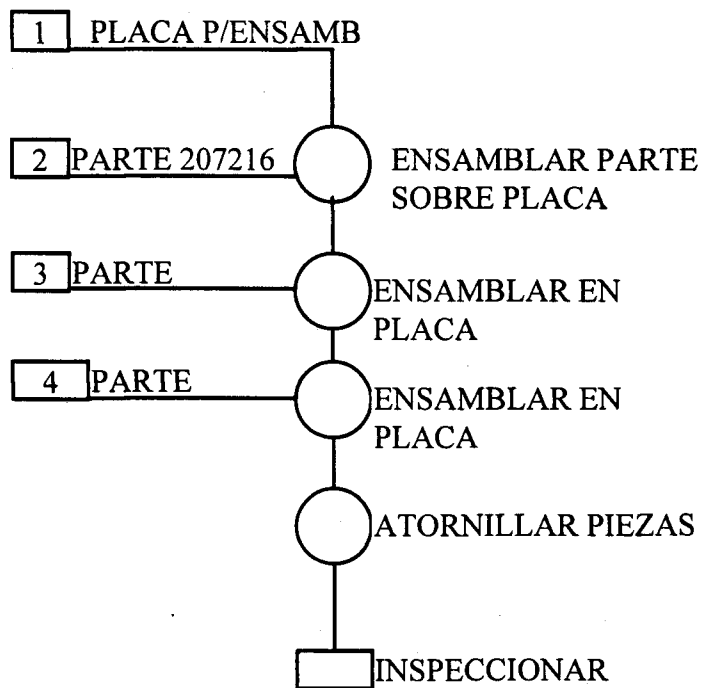


Fig. 42. Gráfica de Ensamble de Tarjeta Electrónica

DIAGRAMA DE PROCESO
TARJETA ELECTRONICA

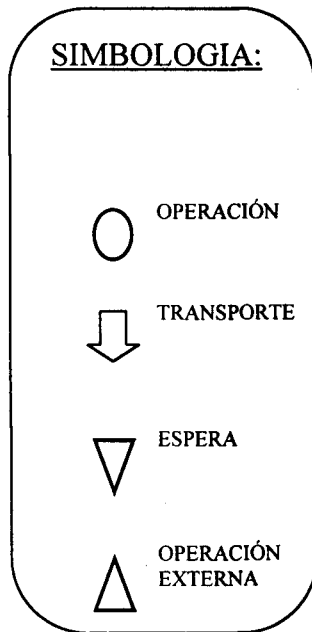
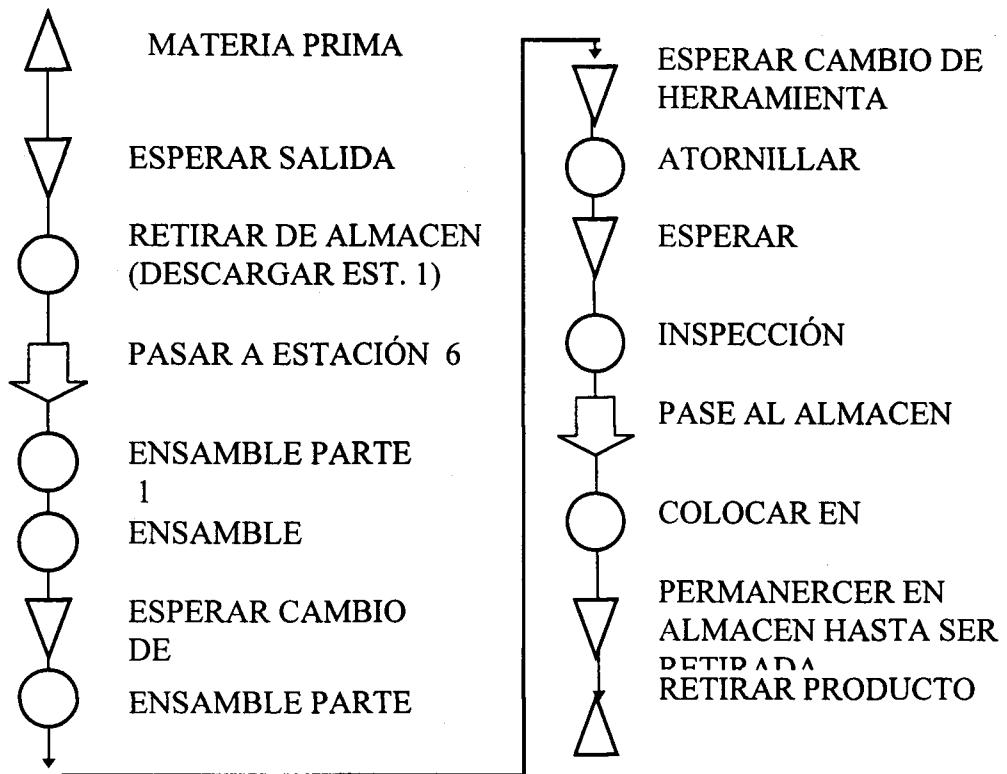


Fig. 43. Diagrama de Proceso de Tarjeta Electrónica

PRODUCTO: FLECHA TORNEADA
MATERIA PRIMA: BARRA DE ALUMINIO SOLIDA 7/8" y 4" long.
EQUIPO A UTILIZAR: TORNO
HERRAMIENTA: CORTADOR IZQUIERDO
PRECISIÓN REQUERIDA: 0.01 mm.

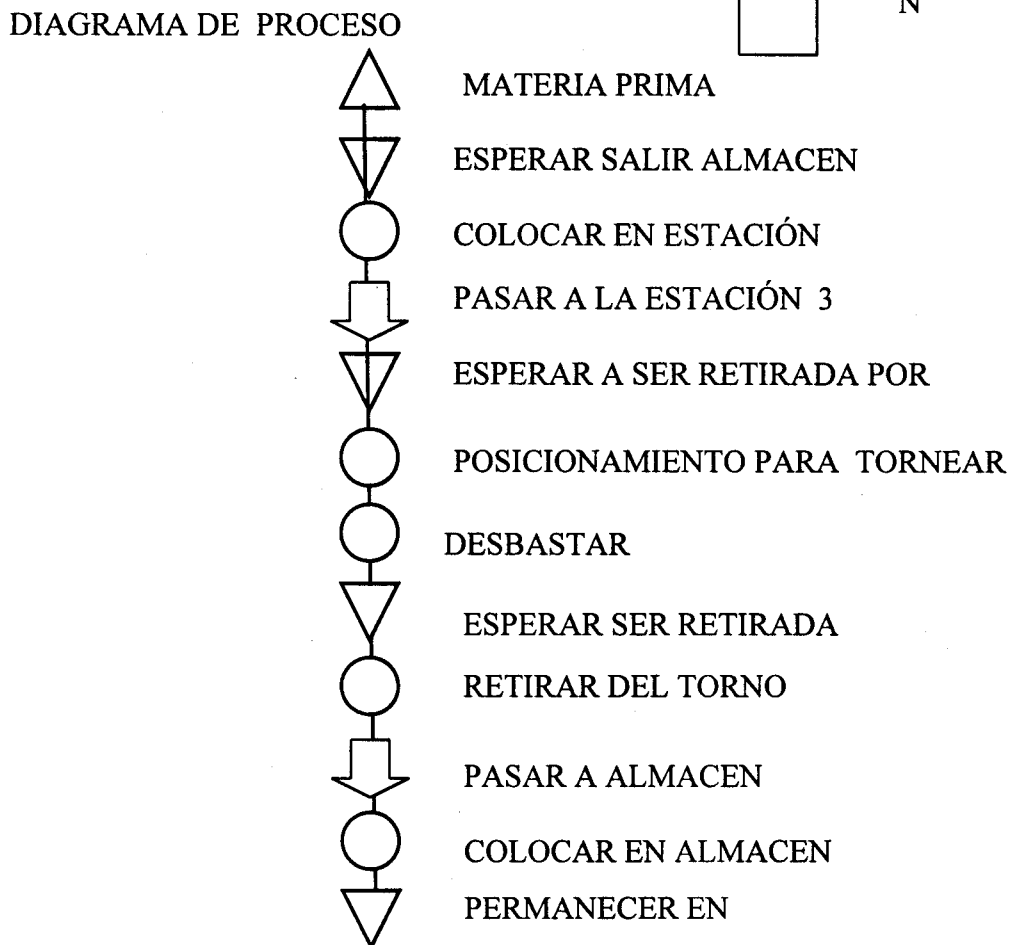
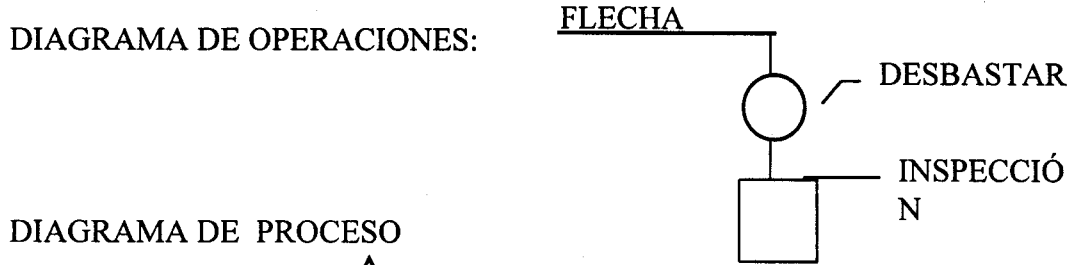


Fig. 44. Diagrama de Operaciones y Proceso de Flecha

PRODUCTO: BISAGRA

NUMERO DE PARTES: 2 (PLACA RECTANGULAR Y REDONDO)

MATERIALES:

Parte 1: Placa de aluminio rectangular 6 1/4"x5"x1/2"

Parte 2: Disco redondo de fierro dulce de Ø 3" x 1/2"

EQUIPO A UTILIZAR: Centro de Maquinado Vertical, Robot Puma, Robot Mitsubishi y Sistema Visión.

HERRAMIENTAS REQUERIDAS: Fresa de 8mm., broca de 1/4", machuelos de 1/4".

PRESICIÓN REQUERIDA: 0.5 MM.

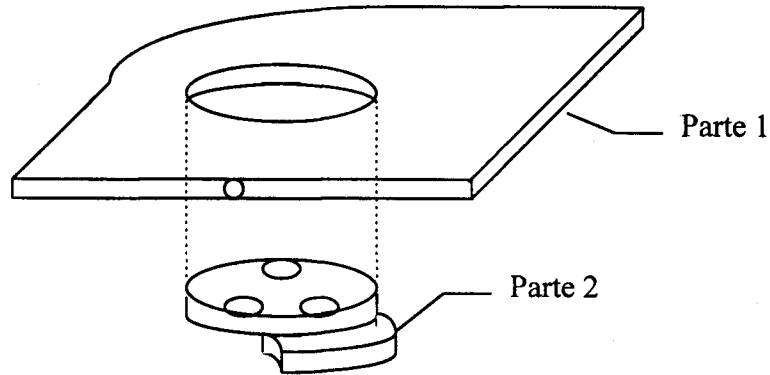


DIAGRAMA DE OPERACIONES

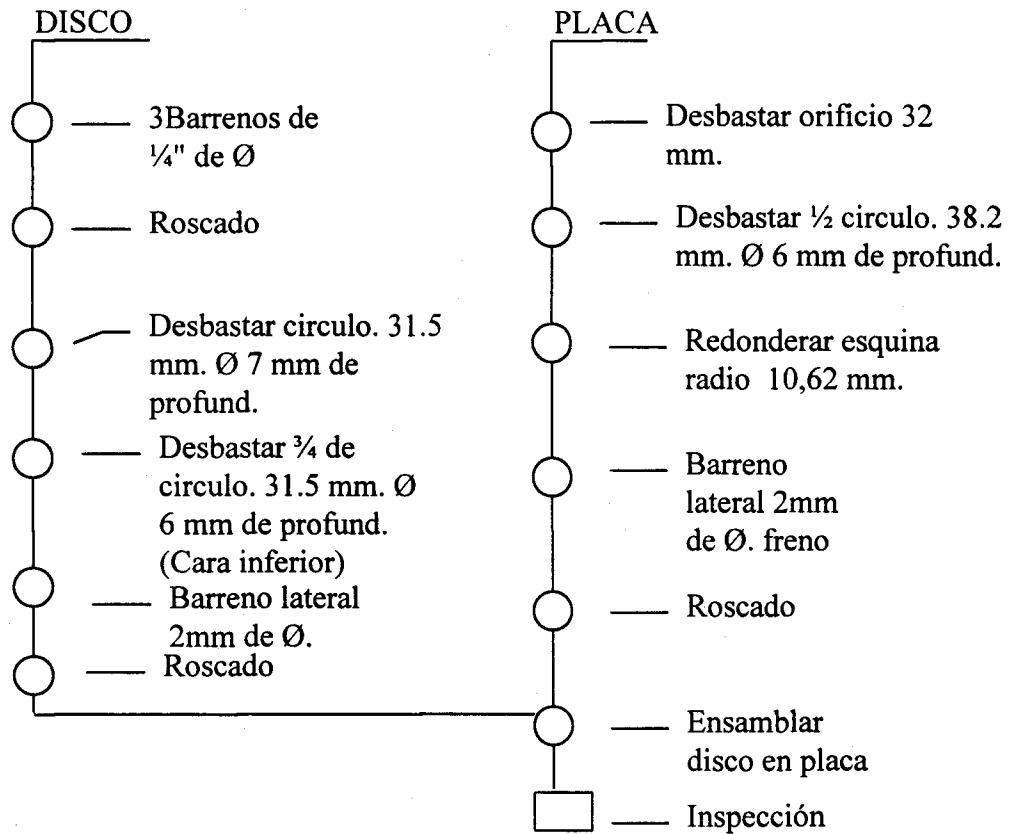


Fig. 45. Diagrama de Operaciones de Bisagra

DIAGRAMA DE PROCESO BISAGRA

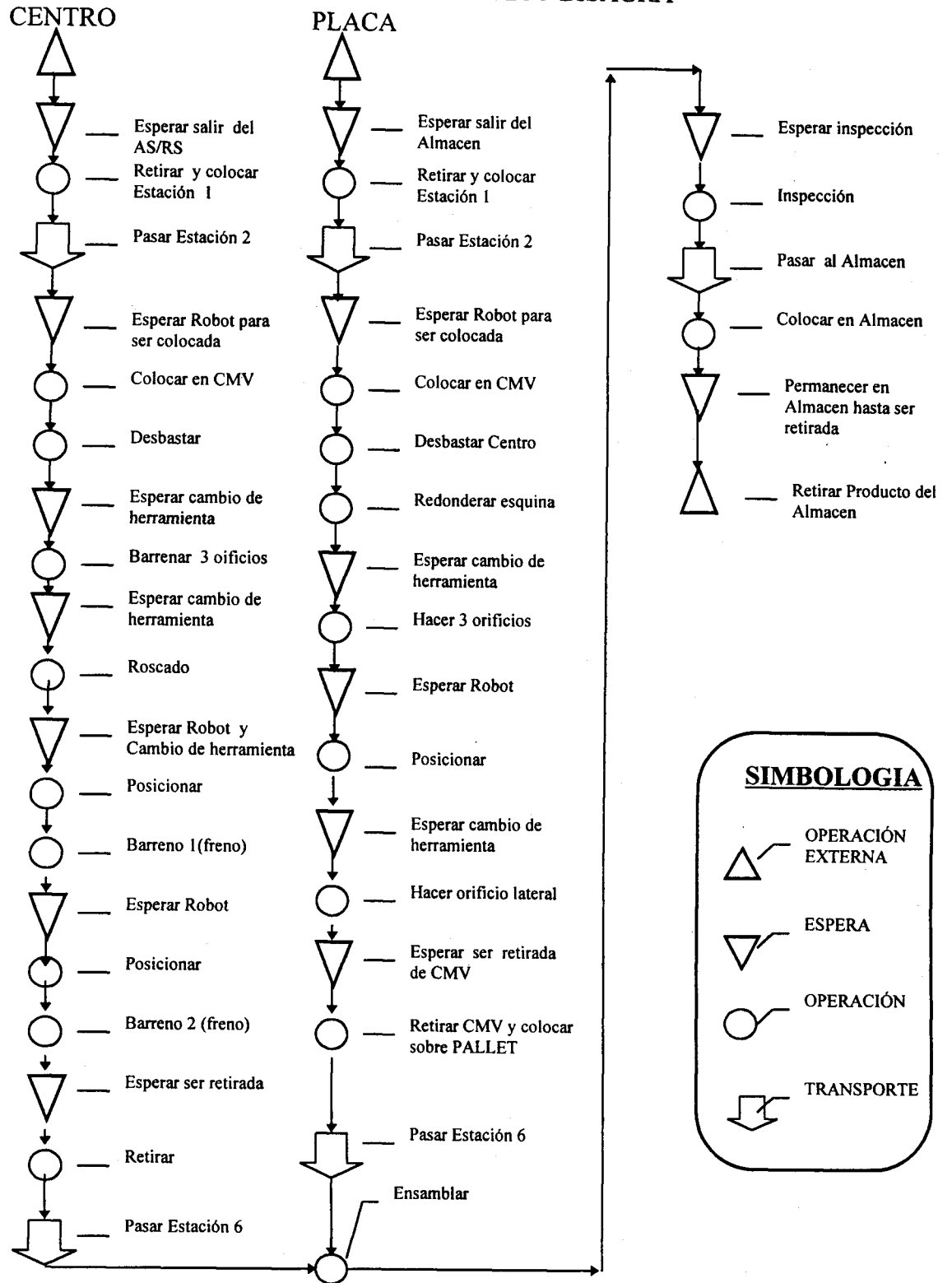


Fig. 46. Diagrama de Proceso de Bisagra

3.3.3 Planeación de las operaciones de maquinado y preparación de los datos tecnológicos.

La eficiencia con la que trabaje el equipo de control numérico y la calidad del producto terminado, depende en gran medida de que se haga una planeación adecuada del trabajo y de que se realicen los preparativos necesarios. Antes de escribir un programa de control numérico es necesario hacer un estudio sobre el maquinado de la pieza que se pretende procesar, para lo cual, se deben realizar los siguientes preparativos:

- Análisis del dibujo de definición de la pieza.
- Inventario de las superficies a maquinar
- Estudio de la acotación
- Elaborar el macroanálisis de fabricación
- Buscar las condiciones de la pieza en bruto, de tal forma que permitan facilitar el maquinado.
- Seleccionar las fases de control numérico dependiendo de la precisión, complejidad de las formas, calidad y diversidad de maquinados.
- Seleccionar el tipo de máquina herramienta de control numérico (MHCHN) que se va a utilizar, en función de las máquinas disponibles.
- Estudiar las operaciones de control numérico que pueden ser agrupadas.
- Prever el montaje de maquinado.
- Seleccionar las herramientas a utilizar.
- Calcular las condiciones de corte

3.3.4 Planeación de movimientos de los robots

En un sistema flexible de manufactura, generalmente intervienen robots en el manejo de las partes que se procesan, ya sea para posicionarlas, o ensamblarlas. Los robots para poder funcionar necesitan de un programa de control de movimientos ; estos movimientos se deben planear antes de diseñar los programas de control. Los movimientos se realizan en relación a puntos en el espacio, por lo que resulta de gran utilidad conocer el área de trabajo de los robots para que en base a ésta se ubiquen detalladamente los diferentes puntos que se utilizarán en el programa de control.

En el anexo 1 aparece la descripción de los puntos empleados en los programas de control que se utilizaron para fabricar los productos seleccionados para este trabajo.

3.4 PREPARATIVOS EN EL FMS PARA FABRICAR LOS PRODUCTOS SELECCIONADOS

Ya se ha mencionado anteriormente, que las partes o piezas deben estar colocadas siempre en la misma posición para poder ser manipuladas por los robots, además, el robot debe tener colocado un efector que sea adecuado a las piezas que va a manipular. Todas las adaptaciones o modificaciones que se hagan al FMS, deben diseñarse de forma que permitan ser colocadas o retiradas con facilidad y rapidez, para que el FMS pueda seguir operando en el menor tiempo posible.

3.4.1 Accesorios de los pallets:

Estos deben diseñarse de tal forma que permitan transportar las partes con seguridad y en posición fija, además se deben considerar las características del efector del robot y los movimientos que debe realizar éste para la manipulación de las partes.

Para procesar los tres productos seleccionados se utilizaron 4 pallets, cada uno de los cuales se preparó con los accesorios adecuados.

3.4.2 Dispositivos alimentadores:

En los procesos de ensamble, con frecuencia se requiere que las partes que van a ser ensambladas estén colocadas en la estación; cuando van a ser manipuladas por un robot, es muy importante que las partes se encuentren al alcance del mismo, en posición fija, y que se puedan tomar con facilidad. Para lograr lo anterior, se deben diseñar dispositivos alimentadores que cumplan con este propósito .

Las partes que se ensamblan en la tarjeta electrónica, deben estar colocadas en la estación 6, por lo que se diseñaron dispositivos alimentadores adecuados a cada una de ellas y al efector utilizado por el robot Júpiter.

3.4.3 Efectores de los robots:

Los efectores de los robots deben ser adecuados a las piezas que van a manipular. Un mismo efector puede ser adecuado a una gran cantidad de piezas, pero en ocasiones, las partes que se manipulan son delicadas y requieren de una fuerza de sujeción controlada, o bien, tienen alguna forma especial.

Para poder manipular las partes de la tarjeta electrónica, se modificaron dos efectores del robot Júpiter. Cambiando los dedos del efector se logró la sujeción requerida para las piezas.

3.5 DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE CADA EQUIPO

En base al diagrama de operaciones requeridas por cada uno de los productos seleccionados, a las especificaciones de diseño y al equipo a utilizar, se diseñaron los programas necesarios para la operación automática de los mismos, utilizando el software correspondiente a cada uno de ellos.

En las páginas siguientes aparecen los programas que se describen a continuación:

- 1.-MABFRE diseñado para el VMC para realizar las operaciones que requiere la parte 1 de la bisagra.
- 2 .-MABMIT diseñado para el robot Mitsubishi instalado en la estación 6, para el ensamble de las partes 1 y 2.
- 3.-MAPUMA diseñado para el robot PUMA para realizar las operaciones de carga y descarga del VMC y del torno.
 - 3.1 Subrutina IRFRESA, para que el robot se desplace hacia el VMC.
 - 3.2 Subrutina FRE1, para hacer que el robot levante la placa de la estación 2.
 - 3.3 Subrutina FRE2, para que el robot realice los movimientos de carga y posicionamiento de la placa dentro del VMC.
 - 3.4 Subrutina FRE3, para que el robot retire la parte procesada del VMC.
 - 3.5 Subrutina FRE4, para que el robot coloque la parte procesada en la estación 2.
 - 3.6 Subrutina IRTORNO, para que el robot se desplace hacia el torno.
 - 3.7 Subrutina TOR1, para que el robot levante la flecha de la estación 3.
 - 3.8 Subrutina TOR2, para que el robot coloque la flecha dentro del torno.
 - 3.9 Subrutina TOR3, para que el robot retire la flecha maquinada del torno.
 - 3.10 Subrutina TOR4, para que el robot coloque la flecha maquinada en la estación 3.
- 4.-MABVIS diseñado para el sistema de visión.
- 5.-MAFTOR diseñado para el torno automático para realizar las operaciones de maquinado necesarias.

6.-MATJUP diseñado para el robot JUPITER para realizar las operaciones de ensamble requeridas.

7.-MATVIS diseñado para el sistema de visión.

8.-MARA diseñado para el sistema 862-AS/RS

Los puntos empleados en los programas de control para los robots, son los que se describen en el anexo 1.

1. PROGRAMA MABFRE.NC

O1348;	(Numero de programa)
N01 G21;	(Datos en milímetros)
N02 G90;	(Programación absoluta)
N03 G56;	(Sist. coordenadas 3)
N04 G00 X0 Y135.8 Z252.7;	(Posicionarse en punto alto)
N05 M46;	(abrir puerta)
N06 G04 X5;	(demora de 5 segundos)
N07 M41;	(abrir prensa)
N08 G04 X5;	(demora de 5 segundos)
N09 M42;	(comunicación con el PUMA)
N10 M40;	(cerrar prensa)
N11 G04 X5;	(demora 5 segundos)
N12 M42;	(comunicación con el PUMA)
N13 M47;	(cerrar puerta)
N14 G04 X5;	(demora de 5 segundos)
N15 M06 T1;	(Tomar herramienta 1)
N16 G43 H1;	(Compensación de herr. 1)
N17 G56;	(Definir Sist. Coord. del trabajo)
N18 G00 X0 Y0 Z0;	(Ir al punto de referencia del trabajo)
N19 G00 Z-10;	(colocar 2mm encima de pieza)
N20 M03 S1000;	(arranque de husillo a 1000 RPM)
N21 G00 X-28;	(posicionarse en X)
N22 G01 Z-14 F25;	(penetra 2mm en pieza)
N23 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 2mm de profundidad)
N24 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 2mm de profundidad)
N25 G01 Z-16 F25;	(penetra 4 mm en pieza)
N26 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 4mm de prof.)
N27 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 4mm de prof.)
N28 G01 Z-18 F25;	(penetra 6 mm en pieza)
N29 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 6mm de profundidad)

N30 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 6 mm de profundidad)
N31 G01 Z-20 F25;	(penetra 8 mm en pieza)
N32 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 8mm de profundidad)
N33 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 8mm de profundidad)
N33 G01 Z-22 F25;	(penetra 10 mm en pieza)
N34 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 10mm de profundidad)
N35 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo a 10mm de profundidad)
N36 G01 Z-25 F25;	(penetra 13 mm en pieza)
N37 G02 X28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo de lado a lado)
N38 G02 X-28 Y0 R28 F25;	(rebaja medio circulo de lado a lado)
N39 G04 X5;	(demora de 5 segundos)
N40 G01 Z-10 F25;	(subir herr. a 2mm sobre la pieza)
N41 G00 X-28 Y4;	(posicionamiento)
N42 G01 Z-14;	(penetrar 2mm en pieza)
N43 G01 X-38 F25;	(ranurar)
N44 G01 X-34 F25;	(retrocede 4mm en X)
N45 G02 X34 Y0 R34 F25;	(rebajar medio circulo a 2mm de profundidad)
N46 G02 X4 Y-34 R34 F25;	(rebajar un cuarto de circulo a 2mm de prof.)
N47 G01 Y-38 F25;	(ranurar)
N48 G01 Z-16 F25;	(penetra 4mm en pieza)
N49 G01 Y-34 F25;	(ranurar)
N50 G03 X34 Y0 R34 F25;	(rebaja un cuarto de circulo a 4mm de prof.)
N51 G03 X-34 Y4 R34 F25;	(rebaja medio circulo a 4 mm de profundidad)
N52 G01 X-38 F25;	(ranurar)
N53 G01 Z-10 F25;	(subir herramienta 2mm encima de pieza)
N54 G00 X0 Y64;	(posicionamiento)
N55 G01 Z-14 F25;	(penetrar 2mm en pieza)
N56 G02 X64 Y0 R64 F25;	(rebajar esquina a 2mm de profundidad)
N57 G01 Z-16 F25;	(penetra 4mm en pieza)
N58 G03 X0 Y64 R64 F25;	(rebajar esquina a 4mm de profundidad)
N59 G01 Z-18 F25;	(penetra 6 mm en pieza)
N60 G02 X64 Y0 R64 F25;	(rebajar esquina a 8mm de profundidad)
N61 G01 Z-20 F25;	(penetra 8 mm en pieza)
N62 G03 X0 Y64 R64 F25;	(rebajar esquina a 8mm de profundidad)
N63 G01 Z-22 F25;	(penetra en pieza 10mm)
N64 G02 X64 Y0 R64 F25;	(rebajar esquina a 10mm de profundidad)
N65 G01 Z-25 F25;	(penetra pieza de lado a lado)
N66 G03 X0 Y64 R64 F25;	(corta esquina de lado a lado)
N67 G04 X5;	(demora 5 segundos)
N68 G01 Z-10 F25;	(levantar herramienta 2mm sobre pieza)
N69 M05;	(detener husillo)
N70 M06 T3;	(cambiar a herramienta 3)
N71 G00 X0 Y0 Z0;	(Posicionarse en origen)

N72 M03 S1000;	(Girar husillo a 1000 rpm)
N73 G01 X-30 Y-85 Z-10;	(Colocarse sobre orificio 1)
N74 G83 Z-26 F400;	(Ciclo de taladrado)
N75 G01 X30 Y-85 Z-10;	(Colocarse sobre orificio 2)
N76 G83 Z-26 F400;	(Ciclo de taladrado)
N77 G01 X0 Y-60 Z-10;	(Colocarse sobre orificio 3)
N78 G83 Z-26 F400;	(Ciclo de taladrado)
N79 G00 X0 Y0 Z0;	(Ir a punto de referencia)
N80 G54;	(Cambio del sistema de coordenadas)
N81 G00 X155 Y330 Z200;	(Ir a punto alto en Sist. Coord 1)
N82 M46;	(abrir puerta)
N83 G04 X5;	(demora de 5 seg)
N84 M42;	(señal al PUMA)
N85 M41;	(abre prensa)
N86 M04 X5;	(demora de 5 seg)
N86 M42;	(señal al PUMA)
N87 M40;	(cerrar prensa)
N88 G04 X3;	(demora de 3 seg)
N89 M42;	(señal al PUMA)
N90 M47;	(cerrar puerta)
N91 G04 X8;	(demora de 8 seg)
N92 G57;	(Seleccionar Sist. de coordenadas)
N93 G00 X0 Y0 Z0;	(ir al punto de referencia)
N94 M03 S1000;	(girar husillo a 1000 RPM)
N95 G83 G98 Z-40 F400;	(taladrar hasta 40 mm de profundidad)
N96 M05;	(detener husillo)
N97 M06 T0;	(Dejar herramienta)
N98 M46;	(abre puerta)
N99 M04 X5;	(demora de 5 segundos)
N100 M42;	(señal al PUMA)
N102 M41;	(abre prensa)
N103 M04 X5	(demora de 5 segundos)
N104 M42;	(señal al PUMA)
N105 G04 X3	(Demora)
N106 M99;	(fin del programa)
N107	

2. PROGRAMA MABMIT

10 NT	(Movimiento a la posición de referencia)
20 SP 9,H	(Asigna velocidad max. con alta aceleración)

30 GO	(Abrir gripper)
35 MO 300,O	(Moverse al punto 300 con gripper abierto)
40 OB +4	(Activa señal desplazamiento sobre el riel)
50 ID	(Lee entradas y actualiza registro interno)
60 TB +4,80	(Espera se active señal del límite de desplaz.)
70 GT 50	(Salto de programa a etiqueta 50)
80 OB -4	(Desactiva señales)
81 OB -0	
82 OB -1	
83 OB -2	
84 OB -3	
85 OB -5	
86 MO 301,O	(Moverse al punto 301 con gripper abierto)
87 MO 302,O	(Moverse al punto 302 con gripper abierto)
88 MO 303,O	(Moverse al punto 303 con gripper abierto)
89 GC	(Cerrar el gripper)
90 MO 302,C	(Moverse al punto 302 con gripper cerrado)
91 MO 301,C	(Moverse al punto 301 con gripper cerrado)
92 MO 306,C	(Moverse al punto 306 con gripper cerrado)
95 ID	(Lee entrada y actualiza registro interno)
100 TB +0,120	(Espera señal de pallet presente en Estn. 6)
110 GT 95	(Salto de programa a etiqueta 95)
120 MO 304,C	(Moverse al punto 304 con gripper cerrado)
125 SP 3,L	(Disminuye velocidad)
130 MO 305,C	(Moverse al punto 305 con gripper cerrado)
140 GO	(Abrir gripper)
145 SP 9,H	(Incrementa velocidad)
150 MO 304,O	(Moverse al punto 304 con gripper abierto)
160 MO 306,O	(Moverse al punto 306 con gripper abierto)
165 MO 301,O	(Moverse al punto 301 con gripper abierto)
170 OB +1	(Envía señal a sist. de visión para inspección)
175 ID	(Lee entrada y actualiza registro interno)
180 TB +1,190	(Espera señal de fin de inspección)
185 GT 175	(Salto de programa a etiqueta 175)
190 OB -1	(Desactiva señal al sist. de visión)
195 OB +0	(Envía señal para liberar el pallet de la Est. 6)
200 ID	(Lee entrada y actualiza registro interno)
205 TB -0,305	(Espera se desactive señal de la Est. 6)
300 GT 200	(Salto del programa a etiqueta 200)
305 OB -0	(Desactiva señal a la Estn. 6)
310 GT 20	(Regresa al principio del programa)

3. MAPUMA

SIGNAL -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8	(Apagar señales)
RIGHTY	(Funciona como brazo derecho)
SPEED 75 ALWAYS	(Establece velocidad)
CALL IRFRESA	(LLama a subrutina IRFRESA)
1 IF BITS(1001, 2) == 1 GOTO 10	(Condic. de lleg. de pallet a Estn.3)
IF BITS(1001, 2) == 2 GOTO 15	(Condic. de lleg. de pallet a Estn.2)
IF BITS(1001, 2) == 3 GOTO 10	(Condic. de lleg. de pallet a Estn.3)
GOTO 1	(Irse a la etiqueta 1)
10 CALL IRTORNO	(Llama a subrutina IRTORNO)
CALL TOR1	(Llama a subrutina TOR1)
CALL TOR3	(Llama a subrutina TOR2)
CALL TOR3	(Llama a subrutina TOR3)
CALL TOR4	(Llama a subrutina TOR4)
CALL IRFRESA	(Llama a subrutina IRFRESA)
15 CALL FRE1	(Llama a subrutina FRE1)
CALL FRE2	(Llama a subrutina FRE2)
CALL FRE3	(Llama a subrutina FRE3)
CALL FRE4	(Llama a subrutina FRE4)
GOTO 1	(Irse a la etiqueta 1)

3.1 SUBRUTINA IRFRESA

SPEED 75 ALWAYS	(Asigna velocidad)
RIGHTY	(Funciona como brazo derecho)
MOVE fresa	(Moverse al punto llamado fresa)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
SIGNAL 5	(Activa señal desplazamiento hacia la fresa)
WAIT SIG(1005)	(Espera señal del límite de extensión)
SIGNAL 7	(Activa señal para fijación en el riel)
DELAY 1.5	(Demora de 1.5 seg)
SIGNAL -5	(Desactiva señal de desplazamiento)
DELAY 0.2	(Demora 0.2 segundos)
SIGNAL -7	(Desactiva señal de fijación en el riel)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.2 SUBRUTINA FRE1

SPEED 75 ALWAYS	(Asignar velocidad)
RIGHTY	(Funcionar como brazo derecho)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVE est21	(Moverse al punto llamado est21)
WAIT SIG(1001)	(Esperar señal de pallet presente en Est.2)
MOVE est22	(Moverse al punto llamado est22)
MOVE est23	(Moverse al punto llamado est23)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 segundos)
CLOSEI	(Cerrar gripper)
DELAY 0.2	(Demora de 0.2 segundos)
MOVE est24	(Moverse al punto llamado est24)
MOVE est21	(Moverse al punto llamado est21)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.3 SUBROUTINA FRE2

SPEED 75 ALWAYS	(Asigna velocidad)
RIGHTY	(Funciona como brazo derecho)
MOVE fre1	(Moverse al punto fre1)
WAIT SIG(1003)	(Esperar señal de la fresa)
MOVE fre2	(Moverse al punto fre2)
MOVE fre3	(Moverse al punto fre3)
SPEED 30	(Asignar velocidad)
MOVE fre4	(Moverse al punto fre4)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar señal de la fresadora)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
WAIT SIG(1003)	(Espera señal de la fresadora)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVES fre5	(Moverse al punto fre5)
MOVES fre1	(Moverse al punto fre1)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
DELAY 2	(Demora de 2 seg)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de la fresadora)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
DELAY 2	(Demora de 2 seg)
WAIT SIG(1003)	(Espera señal de la fresadora)
MOVE fre2	(Moverse al punto fre2)

MOVE fre5	(Moverse al punto fre5)
MOVE fre4	(moverse al punto fre4)
CLOSEI	(Cerrar gripper)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de la fresadora)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
WAIT SIG(1003)	(Espera señal de la fresadora)
MOVE fre3	(Moverse al punto fre3)
MOVE fre2	(Moverse al punto fre2)
MOVE fregir	(Moverse al punto fregir)
SPEED 30	(Asignar velocidad)
MOVE frelad	Posicionar pieza en mordaza)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de la fresadora)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
WAIT SIG(1003)	(Espera señal de la fresadora)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVES fregir	(Moverse al punto fregir)
MOVES fre1	(Moverse al punto fre1)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
DELAY	(Demora de 2 seg)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de la fresadora)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.4 SUBROUTINA FRE3

SPEED 75 ALWAYS	(Asignar velocidad)
RIGHTY	(Funcionar como brazo derecho)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVE fre1	(Moverse al punto fre1)
WAIT SIG(1003)	(Esperar señal de la fresadora)
MOVE fregir	(Moverse al punto fregir)
MOVE frelad	(Moverse al punto frelad)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
CLOSEI	(Cerrar gripper)
DELAY 0.2	(Demora de 0.2 seg)

SIGNAL 3	(Enviar señal a fresadora)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de fresadora)
DELAY 0.25	(Demora de 0.25 seg)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a la fresadora)
WAIT SIG(1003)	(Esperar señal de la fresadora)
MOVE fregir	(Moverse al punto fregir)
MOVE fre2	(Moverse al punto fre2)
MOVE fre1	(Moverse al punto fre1)
DELAY 1.5	(Demora de 1.5 seg)
SIGNAL 3	(Activar señal a la fresadora)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
WAIT SIG(-1003)	(Esperar se desactive señal de fresadora)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
SIGNAL -3	(Desactivar señal a fresadora)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.5 SUBROUTINA FRE4

SPEED 75 ALWAYS	(Asignar velocidad)
RIGHTY	(Funcionar como brazo derecho)
MOVE fre21	(Moverse al punto fre21)
MOVE est24	(Moverse al punto est24)
SPEED 25	(Asignar velocidad)
MOVE fre23	(Moverse al punto fre23)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
OPENI	(Abrir gripper)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
MOVE est22	(Moverse al punto est22)
MOVE fre21	(Moverse al punto fre21)
SIGNAL 1	(Activar señal de fin de tarea en la Est.2)
WAIT SIG(-1001)	(Esperar se desactive la señal de la Est.2)
SIGNAL -1	(Desactivar señal 1)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.6 SUBROUTINA IRTORNO

SPEED 75 ALWAYS	(asigna velocidad)
RIGHTY	(Funciona como brazo derecho)
MOVE fresa	(Moverse al punto denominado fresa)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)

SIGNAL 6	(Activa señal desplazamiento hacia el torno)
WAIT SIG(1006)	(Espera señal de límite de extensión dl riel)
SIGNAL 8	(Activa señal de fijación al riel)
DELAY 1.5	(Demora de 1.5 seg)
SIGNAL -6	(Desactiva señal desplazamiento)
DELAY 0.2	(Demora de 0.2 seg)
SIGNAL -8	(Desactiva señal de fijación)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.7 SUBROUTINA TOR1

SPEED 75 ALWAYS	(Asignar velocidad)
LEFTY	(Funcionar como brazo izquierdo)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVE est31	(Moverse al punto llamado est31)
WAIT SIG(1002)	(Esperar señal de pallet presente en Est.3)
MOVE est32	(Moverse al punto llamado est32)
SPEED 15	(Asignar velocidad)
MOVE est33	(Moverse al punto llamado est33)
SPEED 15	(Asignar velocidad)
MOVE est34	(Moverse al punto llamado est34)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 segundos)
CLOSEI	(Cerrar gripper)
DELAY 0.2	(Demora de 0.2 segundos)
MOVE est33	(Moverse al punto llamado est33)
MOVE est31	(Moverse al punto llamado est31)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.8 SUBROUTINA TOR2

SPEED 75 ALWAYS	(Asigna velocidad)
RIGHTY	(Funciona como brazo derecho)
MOVE tor1	(Moverse al punto tor1)
SIGNAL 4	(Activar señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Esperar señal del torno)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
MOVE tor2	(Moverse al punto tor2)
SPEED 10	(Asignar velocidad)
MOVE tor3	(Moverse al punto tor3)
SPEED 3	(Asignar velocidad)

MOVE tor4	(Moverse al punto tor4)
DELAY 2	(Demora de 2 seg)
SIGNAL 4	(Activar señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Esperar señal del torno)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
DELAY 2	(Demora de 2 seg)
OPENI	(Abrir gripper)
MOVES tor3	(Moverse al punto tor3)
MOVES tor2	(Moverse al punto tor2)
MOVES tor1	(Moverse al punto tor1)
DELAY 2	(Demora de 2 seg)
SIGNAL 4	(Activar señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Esperar señal del torno)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
DELAY 1	(Demora de 1 seg)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.9 SUBROUTINA TOR3

SPEED 75 ALWAYS	(Asignar velocidad)
OPENI	(Abrir gripper)
RIGHTY	(Funcionar como brazo derecho)
MOVE tor1	(Moverse al punto tor1)
SIGNAL 4	(Activar señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Esperar señal del torno)
DELAY 5	(Demora de 5 seg)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
MOVE tor2	(Asignar velocidad)
MOVE tor3	(Moverse al punto tor3)
SPEED 5	(Asignar velocidad)
MOVE tor2	(Moverse al punto tor2)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
CLOSEI	(Cerrar gripper)
SIGNAL 4	(Activa señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Espera señal del torno)
DELAY 5	(Demora de 5 seg)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
SPEED 5	(Asigna velocidad)
MOVE tor3	(Moverse al punto tor3)
SPEED 50	(Asignar velocidad de 50)
MOVE tor2	(Moverse al punto tor2)

MOVE tor1	(Moverse al punto tor1)
DELAY 2.5	(Demora de 2.5 seg)
SIGNAL 4	(Activar señal al torno)
WAIT SIG(1004)	(Esperar señal del torno)
SIGNAL -4	(Desactivar señal al torno)
RETURN	(Regresa al programa principal)

3.10 SUBROUTINA TOR4

SPEED 75 ALWAYS	(Asigna velocidad)
LEFTY	(Funcionar como brazo izquierdo)
MOVE est31	(Moverse al punto est31)
MOVE est32	(Moverse al punto est32)
SPEED 25	(Asignar velocidad)
MOVES est33	(Moverse al punto est33)
MOVES est34	(Moverse al punto est34)
DELAY 0.5	(Demora de 0.5 seg)
OPENI	(Abrir gripper)
DELAY 0.2	(Demora de 0.2 seg)
MOVES est33	(Moverse al punto est33)
MOVE est31	(Moverse al punto est31)
SIGNAL 2	(Activar señal de terminación de tarea Estn.3)
WAIT SIG(-1002)	(Esperar se desactive la señal de la estn. 3)
SIGNAL -2	(Desactivar señal 2)
RETURN	(Regresa al programa principal)

4. PROGRAMA MABVIS

0	Label	0	(Etiqueta 0)
1	Select Camera	0	(Seleccionar cámara 0)
2	Wait input On	1	(Espera se active señal 1)
3	Analyze Image		(Analiza imagen)
4	Output On	1	(Envía señal de fin de Inspección)
5	Wait Input Off	1	(Espera se apague señal 1)
6	Output Off	1	(Apaga señal 1)
7	Goto	0	(Regresa al inicio del programa)

5. PROGRAMA MAFTOR.NC

O1349	(Número de programa)
N01 M20;	(Espera señal del robot PUMA)
N02 G28 U0 W0;	(Movimiento a posición de referencia)
N03 M06 T0202;	(Giro de torreta para colocarse en Herr.2)
N04 M83	(Abrir puerta)
N05 G04 X8;	(Espera 8 seg. para que se abra la puerta)
N10 M11;	(Abrir el chuck)
N11 M59;	(Envía señal al robot PUMA)
N12 M20;	(Espera señal del robot PUMA)
N13 M10;	(Cerrar el chuck)
N14 G04 X3;	(Espera 3 seg. para que se cierre el chuck)
N15 M59;	(Envía señal al robot PUMA)
N16 M20;	(Espera señal del robot PUMA)
N17 M82;	(Cerrar la puerta)
N18 G04 X7;	(Espera 7 seg. para que se cierre la puerta)
N19 M03 S1500;	(Girar el husillo a 1500 rpm)
N20 G00 X22 Z50;	(Posicionamiento de la herramienta)
N21 G84 X-1 Z-21 F1 H1;	(Ciclo de desbaste)
N22 G00 X-3;	(Posicionarse en X)
N23 G01 X2 Z-2 F1;	(Desbastar el angulo de 45)
N24 G01 X0 Z-9 F1;	(Desbastar hasta Z-9)
N25 G01 X-1 Z-3 F1;	(Desbastar)
N26 G01 X0 Z-7 F1;	(Desbastar)
N27 G01 X1 Z0 F1;	(Desbastar)
N28 G00 X0 Z7;	(Posicionar)
N29 G00 X-1 Z0;	(Posicionar)
N30 G01 X-1 Z-3 F1;	(Desbaste)
N31 G01 X0 Z-4 F1;	(Desbaste)
N32 G01 X2 Z0 F1;	(Desbaste)
N33 G00 X0 Z21;	(Posicionamiento fuera de la pieza)
N34 G28 U0 W0;	(Movimiento a posición de referencia)
N35 M05;	(Detener giro del husillo)
N36 M83;	(Abrir puerta)
N37 G04 X8;	(Espera 8 seg para que se abra la puerta)
N38 M59;	(Envía señal al robot PUMA)
N39 M20;	(Espera señal del robot PUMA)
N40 M11;	(Abrir el chuck)
N41 M59;	(Envía señal al robot PUMA)

N42 M20;
N43 M99;
principio)

(Espera señal del robot PUMA)
(Instrucción para ciclar el programa al

6. PROGRAMA MATJUP

OF 2	(Desactivar señal número 2)
OF 3	(Desactivar señal número 3)
OF 4	(Desactivar señal número 4)
OF 6	(Desactivar señal número 6)
OF 7	(Desactivar señal número 7)
OF 10	(Desactivar señal número 10)
OF 11	(Desactivar señal número 11)
NP	(Línea sin programar)
LB 10	(Etiqueta número 10)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MS 1	(Moverse a partir del punto 1)
CS 11	(Llamar a la subrutina en etiqueta 11)
MS 2	(Moverse a partir del punto 2)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
ON 2	(Activar el compresor de aire)
OF 3	(Abrir pinzas)
MS 4	(Moverse a partir del punto 4)
WTM 11	(Esperar señal de inicio de operaciones)
CS 1	(Llamar a la subrutina en la etiqueta 1)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
MS 8	(Moverse a partir del punto 8)
SP 50	(Asignar una velocidad de 50)
MS 9	(Moverse a partir del punto 9)
MP 10	(Moverse hasta el punto 10)
MP 11	(Moverse hasta el punto 11)
OF 3	(Abrir pinzas)
DE 7	(Demora de 7 segundos)
MS 9	(Moverse a partir del punto 9)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MS 8	(Moverse a partir del punto 8)
MP 7	(Moverse al punto 7)
CS 2	(Llamar a subrutina en etiqueta 2)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
MS 8	(Moverse a partir del punto 8)

SP 50	(asignar velocidad de 50)
MS 15	(Moverse a partir del punto 15)
MP 16	(Moverse al punto 16)
MP 17	(Moverse al punto 17)
OF 3	(Abrir pinzas)
DE 7	(Demora de 7 segundos)
MS 15	(Moverse a partir del punto 15)
SP 125	(Asignar una velocidad de 125)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
ON 3	(Cerrar pinzas)
DE 3	(Demora de 3 segundos)
MS 1	(Moverse a partir del punto 1)
CS 21	(Llamar a subrutina en etiqueta 21)
MS 1	(Moverse a partir del punto 1)
CS 13	(Llamar a subrutina en etiqueta 13)
ON 2	(Activa compresor de aire)
SP 125	(Asigna velocidad de 125)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
OF 3	(Apaga señal del desarmador)
ON 4	(Activa aire para el desarmador)
MS 8	(Moverse a partir del punto 8)
MS 18	(Moverse a partir del punto 18)
SP 50	(Asigna velocidad de 50)
MP 19	(Moverse al punto 19)
ON 3	(Atornilla)
DE 1	(Demora de 1 segundo)
OF 4	(Apaga aire del desarmador)
OF 3	(Deja de atornillar)
SP 10	(Asigna velocidad de 10)
MP 18	(Moverse al punto 18)
SP 125	(Asigna velocidad de 125)
MS 8	(Moverse a partir del punto 8)
MS 20	(Moverse a partir del punto 20)
SP 50	(Asigna velocidad de 50)
MP 21	(Moverse al punto 21)
ON 4	(Activa aire para el desarmador)
ON 3	(Atornilla)
DE 1	(Demora de 1 segundo)
OF 4	(Apaga aire del desarmador)
OF 3	(Deja de atornillar)
SP 10	(Asigna velocidad de 10)
MP 20	(Moverse al punto 20)
SP 125	(Asigna velocidad de 125)

MS 15	(Moverse a partir del punto 15)
MS 22	(Moverse a partir del punto 22)
SP 50	(Asigna velocidad de 50)
MP 23	(Moverse al punto 23)
ON 4	(Activa el aire del desarmador)
ON 3	(Atornilla)
DE 1	(Demora de 1 segundo)
OF 4	(Apaga aire del desarmador)
OF 3	(Deja de atornillar)
SP 10	(Asigna velocidad de 10)
MP 22	(Moverse a partir del punto 22)
SP 125	(Asigna velocidad de 125)
MS 15	(Moverse a partir del punto 15)
MS 24	(Moverse a partir del punto 24)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 25	(Moverse al punto 25)
ON 4	(Activar el aire del desarmador)
ON 3	(Atornilla)
DE 1	(Demora 1 segundo)
OF 4	(Apaga aire del desarmador)
OF 3	(Deja de atornillar)
SP 10	(Asigna velocidad de 10)
MS 24	(Moverse a partir del punto 24)
SP 125	(Asigna velocidad de 125)
MS 15	(Moverse a partir del punto 15)
OF 4	(Apaga aire del desarmador)
OF 2	(Apaga compresor de aire)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
CS 23	(Llamar a subrutina en etiqueta 23)
CS 12	(Llamar a subrutina en etiqueta 12)
ON 2	(Activar compresor de aire)
OF 3	(Abre pinzas)
CS 3	(Llamar a subrutina en etiqueta 3)
MS 7	(Moverse a partir del punto 7)
SP 25	(Asignar velocidad de 25)
MS 26	(Moverse a partir del punto 26)
MP 27	(Moverse al punto 27)
DE 7	(Demora de 7 segundos)
MP 28	(Moverse al punto 28)
ON 2	(Activa compresor de aire)
OF 3	(Abrir pinzas)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
MS 26	(Moverse a partir del punto 26)

SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MP 84	(Moverse al punto 84)
ON 10	(Enviar señal a sistema de Vision)
WT 10	(Espera señal de fin de inspección)
OF 10	(Apagar señal al sistema de visión)
MS 3	(Moverse a partir del punto 3)
ON 11	(Liberar el pallet)
WF 11	(Esperar se apague señal de entrada 11)
OF 11	(Apagar señal de salida 11)
ON 3	(Cerrar pinzas)
CS 22	(Llamar a subrutina en etiqueta 22)
OF 7	(Desactiva señal a pistones alimentadores)
OF 2	(Apagar compresor de aire)
GO 10	(Regresar a etiqueta número 10)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 11	(Etiqueta número 11, subrutina para tomar
herr.1)	
WT 3	(Esperar se active señal 3)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
OF 2	(Apagar compresor de aire)
WF 2	(Esperar este inactiva señal 2)
GR 1	(Abrir gripper)
MP 61	(Moverse al punto 61)
SP 50	(Moverse al punto 50)
MP 62	(Moverse al punto 62)
WT 2	(Esperar se active señal 2)
GR 0	(Cerrar gripper)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
MS 63	(Moverse a partir del punto 63)
ON 2	(Activar compresor de aire)
ON 3	(Cerrar pinzas)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MS 64	(Moverse a partir del punto 64)
MS 2	(Moverse a partir del punto 2)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
LB 21	(Etiqueta 21, subrutina para dejar herr.1)
ON 3	(Cerrar pinzas)

SP 125	(Asignar velocidad de 125)
OF 2	(Apagar compresor de aire)
WF 3	(Esperar se apague señal 3, no hay herr. en
estn.)	
MS 64	(Moverse a partir del punto 64)
SP 50	(Asignar una velocidad de 50)
MS 63	(Moverse a partir del punto 63)
MP 62	(Moverse al punto 62)
GR 1	(Abrir gripper)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
MS 61	(Moverse a partir del punto 61)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 12	(Etiqueta 12. Subrutina para tomar Herr.2)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
WT 4	(Esperar se active señal 4. Herr. 2 en Estn.)
WF 2	(Esperar se desactive señal 2. No tiene Herr.
coloc)	
GR 1	(Abrir gripper)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 66	(Moverse al punto 66)
MP 67	(Moverse al punto 67)
WT 2	(Esperar se active señal 2. Herr. colocada)
GR 0	(Cerrar gripper)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
MS 68	(Moverse a partir del punto 68)
ON 2	(Activa compresor de aire)
ON 3	(Cerrar pinzas)
MS 69	(Moverse a partir del punto 69)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 22	(Etiqueta 22. Subrutina para dejar Herr.2)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
OF 2	(Apagar compresor de aire)

WF 4	(Esperar se desactive señal 4.No hay Herr. en
Estn.)	
MS 69	(Moverse a partir del punto 69)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 68	(Moverse al punto 68)
MP 67	(Moverse al punto 67)
WT 4	(Esperar se active señal 4. Herr. 3 en Estn.)
GR 1	(Abrir gripper)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
MS 66	(Moverse a partir del punto 66)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 13	(Etiqueta 13. Subr. para tomar Herr. 3)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
WT 5	(Esperar se active señal 5. Herr. 3 en Estn.)
WF 2	(Esperar se desactive señal 2. No tiene Herr.
Coloc)	
GR 1	(Abrir gripper)
MP 71	(Moverse al punto 71)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 72	(Moverse al punto 72)
WT 2	(Esperar se active señal 2. Herr. colocada)
GR 0	(Cerrar griper)
DE 5	(Demora de 5 d,cimas de segundo)
MS 73	(Moverse a partir del punto 73)
WF 5	(Esperar se desactive señal 5)
ON 2	(Activar compresor de aire)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MS 74	(Moverse a partir del punto 74)
MS 75	(Moverse a partir del punto 75)
MS 79	(Moverse a partir del punto 79)
MS 80	(Moverse a partir del punto 80)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 23	(Etiqueta 23. Subr. para dejar Herr. 3)

WF 5	(Esperar se desactive señal 5. No hay Herr. en
Estn.)	
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MS 80	(Moverse a partir del punto 80)
MS 79	(Moverse a partir del punto 79)
MS 75	(Moverse a partir del punto 75)
MS 74	(Moverse a partir del punto 74)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 73	(Moverse al punto 73)
OF 2	(Apaga compresor de aire)
OF 4	(Apagar aire del desarmador)
MP 72	(Moverse al punto 72)
WT 5	(Esperar se active señal 5. Herr. 3 en Estn.)
GR 1	(Abrir gripper)
DE 5	(Demora de 5 décimas de segundo)
MS 71	(Moverse a partir del punto 71)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 1	(Etiqueta 1. Subr. para tomar pieza 1)
OF 7	(Cerrar pistones alimentadores)
WT 6	(Esperar se active señal 6. Alim. 4 con pieza)
MS 4	(Moverse a partir del punto 4)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MS 5	(Moverse a partir del punto 5)
MS 6	(Moverse a partir del punto 6)
ON 3	(Cerrar pinzas)
DE 10	(Demora de 10 segundos)
SP 20	(Asignar velocidad de 20)
MP 5	(Moverse al punto 5)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MP 4	(Moverse al punto 4)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 2	(Etiqueta 2. Subr. para tomar pieza 2)
OF 7	(Cerrar pistones alimentadores)
WT 7	(Esperar se active señal 7. Alim. 3 con pieza)

MS 12	(Moverse a partir del punto 12)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 13	(Moverse al punto 13)
MP 14	(Moverse al punto 14)
ON 3	(Cerrar pinzas)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
SP 20	(Asignar velocidad de 20)
MP 13	(Moverse al punto 13)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MP 12	(Moverse al punto 12)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
LB 3	(Etiqueta 3. Subr. para tomar pieza 3)
OF 7	(Cerrar pistones alimentadores)
WT 8	(Esperar se active señal 8. Alim. 1 con pieza)
MS 30	(Moverse a partir del punto 30)
SP 50	(Asignar velocidad de 50)
MP 31	(Moverse al punto 31)
MP 32	(Moverse al punto 32)
ON 3	(Cerrar pinzas)
DE 5	(Demora de 5 segundos)
SP 20	(Asignar velocidad de 20)
MP 31	(Moverse al punto 31)
SP 125	(Asignar velocidad de 125)
MP 30	(Moverse al punto 30)
RE	(Regresa al programa principal)
NP	
NP	
NP	
NP	
NP	
NP	

7. PROGRAMA MATVIS

0	Label	0	(Etiqueta 0)
1	Select Camera	1	(Seleccionar cámara 1)
2	Wait input On	10	(Espera se active señal 10)
3	Analyze Image		(Analiza imagen)

4	Output On	10	(Envía señal de fin de Inspección)
5	Wait Input Off	10	(Espera se apague señal 10)
6	Output Off	10	(Apaga señal 10)
7	Goto	0	(Regresa al inicio del programa)

8. PROGRAMA MARA

LB	0	(Etiqueta 0)
SP	100	(Asignar velocidad de 100)
ARS		(Comando para programación automática)
GO	0	(Regreso al inicio del programa)

3.6 INTEGRACION DE LOS EQUIPOS DEL FMS

Para crear el programa de manufactura integrada por computadora (CIM) se utilizó el software AMNET de la computadora central del FMS.

El desarrollo de cualquier programa de CIM involucra cuatro pasos fundamentales:

- 1.- Distribución de estaciones (layout)
- 2.- Configuración de estaciones
- 3.- Configuración del proceso
- 4.- Compilación

3.6.1 Distribución de estaciones

Consiste en hacer una representación gráfica de la ubicación de los elementos que integran el FMS, esta información la utiliza la computadora central para supervisar la operación de la línea y fijar las rutas de los pallets hacia las estaciones de manufactura.

3.6.2 Configuración de estaciones

Consiste en dar de alta ciertas características de cada una de las 6 estaciones del FMS.

Las características que se deben definir son las siguientes:

- Operation: Operación que desarrolla la estación
- Feed type: Tipo de alimentación de la estación. Esta puede ser "Automatic" si las partes provienen de otra estación, o

puede ser "request" si las partes provienen directamente del AS/RS

- Station type: Identificación de la estación. Generalmente se identifica con el equipo instalado en la misma.
- Q limit: Es el máximo inventario permitido entre esta estación y la siguiente.
- Stop type: Se refiere al tipo de manejador de pallets que utiliza la estación. Puede ser "transfer" o "positioner"
- Port # Es el número de puerto que corresponde a la estación en el controlador programable.
- Transfer # Si la estación es de tipo "transfer" se le asigna un número automáticamente en forma ascendente de acuerdo al flujo del proceso.
- Scan code: Indica el lugar donde se checa el código de barras de la parte.
- Alarm: Identifica si la estación tiene activada la alarma de emergencia.

En la tabla 19 aparece un resumen de la configuración de estaciones denominada MATEISIS, la cual se creó para la fabricación de los 3 productos.

Tabla 19

STATION :	1	2	3	4	5	6
OPERATION :	Almacén	Fresado	Torneado	Q-Ensamble	Ensambl e	Inspecció n.
FEED TYPE :	N/A	Request	Request	Request	Request	Request
STATION TYPE	AS/RS	VMC535	KL200	MITSU- GAGE	JUPITE R	VISION
Q LIMIT :	1	2	2	2	2	2
STOP TYPE :	Positione r	Transfer	Transfer	Transfer	Position er	Positioner
PORT # :	1	2	3	5	4	6
TRANSFER # :	N/A	1	2	3	N/A	N/A
SCAN CODE :	On line	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ALARM :	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 19. Configuración de estaciones

3.6.3 Configuración del proceso

La configuración de estaciones es la que define la trayectoria de cada uno de los pallets a través del FMS ; es utilizada por la computadora central para controlar el tráfico y proveer de órdenes de inventario al proceso.

Los diagramas de proceso de los productos que van a ser manufacturados, pueden servir de base para hacer la configuración del proceso.

Al utilizar el software AMNET se debe indicar el nombre de la configuración y el número de ensambles o productos diferentes en la corrida de producción. Para cada producto diferente que se pretenda fabricar, se debe proporcionar la siguiente información:

Name:	Nombre del producto
Number of part:	Número de partes diferentes en el producto
Code:	Es el número que utiliza el AS/RS para identificar posiciones en el inventario. Los valores default son 1001,1002,1003,...etc.
Qty:	Es la cantidad de partes usadas en el ensamble
Prec:	Es el orden en el cual se producirán las partes
Sta1,2...,6	Indica el orden de ensamble para los productos. Un '1' indica que el pallet que contiene la parte identificada debe parar en la estación. Un '0' indica que pasará de largo la estación.

En la tabla 20 aparece una de las configuraciones que se hicieron para procesar los 3 productos seleccionados. Esta configuración, se modificó varias veces cambiando el orden en el cual se producirían las partes, así como también la secuencia de procesado para comparar el desempeño del sistema.

Tabla 20

PROCESS CONFIGURATION : MATESIS									
Assembly : MATARTE									
Part information									
Station Routing Qty :									
Name	Code	Qty	Prec	Sta1	Sta2	Sta3	Sta4	Sta5	Sta6
TARJET A	1001	1	1	1	0	0	0	1	0
Assembly : MAFLETE									
Part information									
Station Routing Qty :									
Name	Code	Qty	Prec	Sta1	Sta2	Sta3	Sta4	Sta5	Sta6
FLECH A	2001	1	1	1	0	1	0	0	0
Assembly : MABISA									
Part information									
Station Routing Qty :									
Name	Code	Qty	Prec	Sta1	Sta2	Sta3	Sta4	Sta5	Sta6
PLACA	3001	1	1	1	1	0	0	0	1

Tabla 20. Configuración del proceso

3.6.4 Compilación

Es necesario llevar a cabo la compilación de la información anterior, para poder simular la operación del FMS, o bien para hacer la corrida de producción en caso de que los equipos estén preparados para ejecutar las operaciones correspondientes.

Además de los preparativos en la computadora central del FMS, para lograr la integración se requiere que los equipos que forman parte del sistema tengan en sus programas las instrucciones relacionadas con la señales que se emplean en la interfase.

3.7 OPTIMIZACION DE LA OPERACION DEL FMS

Optimizar la operación del FMS significa que el sistema sea capaz de responder a una orden de producción en el menor tiempo posible y que los productos procesados cumplan con las especificaciones de calidad requeridas. La optimización del sistema sólo puede lograrse mediante un proceso integrado que se inicia desde la etapa de selección de productos que se van a fabricar, planeación y diseño del proceso de manufactura, preparación del sistema, y diseño de los programas necesarios.

El control operacional del flujo de unidades es un elemento crucial para la operación eficiente de un FMS (Stecke, Solberg, 1981). El control operacional incluye tres áreas principales que son las siguientes: mezcla de partes, entrada y asignación de las partes y selección del proceso. (Nof, Whinston, Boller, 1980)

Las tres áreas se encuentran estrechamente relacionadas, de tal forma que las decisiones en cualquiera de ellas afecta a las otras dos; en ocasiones, al decidir la mezcla de partes, quedan determinadas la entrada y asignación de las mismas, y seleccionado el proceso.

Aunque se han desarrollado modelos analíticos de FMS en base a teoría de redes y colas, su aplicación práctica es limitada. El estudio del comportamiento de sistemas dinámicos requiere del uso de técnicas de simulación.

En los FMS la simulación resulta de gran utilidad para analizar el desempeño del sistema bajo diferentes configuraciones de proceso, diferentes mezclas de partes y asignaciones.

Starr y Biloski (1984) sugieren que el problema de la mezcla de partes requiere considerar las características de diseño del FMS; afirman que se pueden lograr importantes beneficios con una cuidadosa selección de la mezcla de producción. Goldhar y Jelinek (1983) sostienen una idea similar al analizar las ventajas del enfocamiento del FMS.

En este trabajo se consideró el enfoque del FMS y las características de diseño al seleccionar los productos para su fabricación.

Ciertos tipos de ensamble se pueden realizar alternativamente en varias estaciones que están equipadas con un robot, por lo que es posible comparar el desempeño del sistema bajo diferentes secuencias de procesado. También es posible modificar el orden en el cual se producirán las partes.

El software AMNET de la computadora central del FMS permite simular el funcionamiento del sistema bajo diferentes configuraciones de proceso, lo que ayuda a verificar si el proceso se desarrolla conforme a lo planeado, además, proporciona medidas de desempeño del sistema que pueden servir de apoyo para tomar decisiones.

3.8 ANALISIS DE RESULTADOS

Para poder analizar el desempeño del sistema, se consideró que las corridas de producción serían como máximo de 24 unidades procesadas, ya que el AS/RS está limitado a 25 localidades y es necesario dejar una de reserva para los pallets regresados por el FMS. La mezcla de productos a procesar en cada corrida, puede ser tan variable como el número de combinaciones que se pueden hacer con los tres productos diferentes ; para fines de análisis, se decidió trabajar en los valores extremos suponiendo que se tuviera una orden de producción consistente de 8 unidades de cada uno de los productos.

Se simularon 16 configuraciones diferentes, obteniéndose los reportes estadísticos que aparecen en el anexo 2. En el reporte que proporciona el software AMNET aparece la duración de la corrida de producción, el tiempo promedio por ensamble, y la utilización de cada una de las estaciones del sistema, con la cual se puede calcular fácilmente la utilización promedio global del FMS.

Mientras se está simulando una corrida de producción, es posible observar en pantalla el flujo de los pallets, y se pueden consultar diferentes pantallas que contienen información relativa al proceso que se está simulando.

Las características y resultados de cada una de las 16 configuraciones simuladas se detallan en la tabla 21.

Tabla 21

Configuración	Partes Proc/Corr			Prioridad Asignada			Tiempo Promedio ensamble (seg)	Utilización del FMS (%)	Duración Promedio Corrida (min)	Inventario en proceso
	1	2	3	1	2	3				
MAT11	1	1	1	1	1	1	490	29	8.10	1
MAT71	1	1	1	3	2	1	490	29	8.10	1
MAT81	1	1	1	2	3	1	490	29	8.10	1
MAT91	1	1	1	1	2	3	490	29	8.10	1
MAT10	4	4	4	1	1	1	360	39.33	24	< 2
MAT121	4	4	4	3	2	1	360	39.33	24	< 2
MAT13	4	4	4	2	3	1	360	39.33	24	< 2
MAT14	8	0	0	1			293.75	14.33	39.10	1
MAT15	0	8	0		1		232.5	15.33	15.33	1
MAT16	0	0	8			1	330	19.5	19.5	1
MAT18	8	8	8	1	1	3	335	42	44.4	< 2
MAT19	8	8	8	3	3	1	335	42	44.4	< 2
MAT21	8	8	8	1	1	1	335	42	44.4	< 2
MAT22	8	8	8*	1	1	1	336.22	42.5	44.5	< 2
MAT23	4	4	4*	1	1	1	360	39.83	24	< 2
MAT24	1	1	1*	1	1	1	500	28.66	8.2	1

* Significa que se utilizará el robot Mitsubishi instalado en la estación 5, en lugar del robot instalado en la estación 6.

Tabla 21. Resumen de las configuraciones simuladas

Para obtener 8 unidades de cada una de las partes que se desean procesar, empleando algunas de las configuraciones simuladas, se puede decidir, hacer 8 corridas de 3 unidades cada una, 2 corridas de 12 unidades, 3 corridas de 8 unidades, o bien, una sola corrida de 24 unidades.

Según los resultados obtenidos en la simulación, el tiempo promedio de producción por ensamble se disminuye a nivel individual si se realizan corridas por lotes de cada uno de los productos que se van a producir, sin embargo, desde un punto de vista más integrado, el tiempo total para responder a la orden de producción sería bastante elevado en comparación

con otras opciones, y la utilización del sistema sería muy baja , por lo que definitivamente no sería lo más adecuado para optimizar el funcionamiento del sistema. Por el contrario, las corridas de producción de mezclas de productos, ofrecen el tiempo de respuesta menor y la mayor utilización del sistema, conforme lo afirman Stecke y Solberg (1981) ; aunque puede notarse que aumenta ligeramente el inventario en proceso.

Si comparamos los resultados de los 2 procesos alternos que se consideraron para ensamblar la bisagra, se puede notar que no hay una diferencia significativa en cuanto al tiempo medio de ensamble ni tampoco en relación a la duración de la corrida de producción, o al inventario en proceso.

En este caso en particular, el proceso alterno no ofrece mayor beneficio, ya que esta operación no puede considerarse como crítica ; pero, si la operación tuviera una duración mayor, sería notable el beneficio al considerar el proceso alterno, ya que la estación 5 está equipada con un sistema del tipo “transfer”, mientras que la estación 6 tiene un sistema “positioner” que obstruye el flujo de los pallets, afectando con esto la duración de la corrida de producción y el inventario en proceso.

Si nos enfocamos a analizar la utilización del sistema, se puede observar que el mayor porcentaje de utilización no llega ni siquiera a un 50%. En ocasiones, puede resultar preocupante la baja utilización del FMS, sin embargo, se debe tener en cuenta que este factor depende significativamente de las características de diseño con las cuales fué creado. Según la clasificación de FMS que propone Fischer (1991), este sistema corresponde a uno de tipo aleatorio los cuales tienen como característica fundamental el ofrecer un alto grado de flexibilidad, a costa de subutilizar el equipo instalado ; por lo tanto, los resultados obtenidos no son sorprendentes.

3.9 COMPARACION DEL DESEMPEÑO DEL FMS CON LOS PROCESOS QUE SE UTILIZAN EN LA REGION.

Aunque no es el objetivo del presente trabajo comparar el desempeño del FMS con los procesos que se emplean actualmente en la región, se consideró interesante hacerlo para tener una idea general de las posibles ventajas o desventajas que pudiera tener la utilización de un FMS.

Resulta difícil comparar el desempeño del FMS con los procesos que se emplean en la región debido a que estos productos se fabrican en sistemas productivos completamente independientes uno del otro, para contrastarlos con el desempeño del FMS sería necesario analizar en forma separada cada uno de los productos y al hacer esto, se perdería uno de los elementos fundamentales del FMS ; además, la cantidad de unidades producidas de cada producto en los sistemas reales no concuerda con las que se consideraron en el FMS ; por lo tanto, al compararlos no se pueden obtener conclusiones cuantitativas definitivas, sino que éstas son de tipo cualitativo y general.

La comparación del desempeño se hizo en base a 3 criterios : tiempo de procesamiento, calidad del producto terminado e inventario en proceso. Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 22.

Tabla 22

Producto	Tiempo de procesado(min)		Calidad % defectuosos		Inventario en proceso	
	FMS	Otro	FMS	Otro	FMS	Otro
Bisagra	5.58	47.3	0	≈32	>1	1
Flecha	1.72	18.4	0	≈28	>1	1
T. Electr.	3.08	0.47	0	≈02	>1	20

Tabla 22. Comparación del desempeño del FMS y otros sistemas

Tiempo de procesamiento. El tiempo de procesamiento para la bisagra y la flecha es significativamente menor cuando se utiliza el FMS, en comparación con los procesos manuales, esto concuerda con lo que afirma M. Groover (1987) al analizar los beneficios económicos cuando se emplea equipo de control numérico. En el caso de la tarjeta electrónica, el tiempo de ensamble es significativamente menor con el proceso manual, esto se debe a que el robot necesita cambiar de efector para cada parte que ensambla.

Inventario en proceso. El inventario en proceso tanto de la flecha como de la bisagra es unitario en el caso del proceso manual, y en el FMS resulta cercano

a un valor de 2. Para la tarjeta electrónica, por el contrario, es bastante mayor cuando se emplea el proceso manual, ya que éste utiliza un sistema de producción por lotes y en la línea de ensamble se tienen 20 unidades en proceso en cualquier momento, mientras que el FMS tiene aproximadamente 2 unidades en proceso.

Calidad del Producto terminado. La calidad del producto terminado es definitivamente mayor para todos los que se producen en el sistema FMS. Tanto la flecha torneada como la bisagra maquinada en el VMC cumplen exactamente con las especificaciones en cuanto a dimensiones y acabados de las superficies maquinadas, además, el desperdicio es prácticamente nulo ; en cambio, cuando se utiliza un proceso manual se tiene un porcentaje elevado de retrabajo, y partes defectuosas. En el ensamble de la tarjeta electrónica, también puede notarse que disminuyen a cero los errores al ensamblar las partes, así como también la cantidad de partes dañadas al insertarlas equivocadamente.

3.10 MODELO PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL FMS.

Todos los puntos que se explicaron detalladamente en las secciones anteriores, se pueden resumir en el modelo esquemático de la figura 47.

En este modelo se presentan los aspectos que se deben considerar para lograr optimizar el funcionamiento de un sistema flexible de manufactura, en particular, el FMS instalado en el Centro de Manufactura del ITESM, campus Sonora-Norte .

Es importante resaltar que la aplicación del modelo propuesto no debe ser en forma secuencial, por el contrario, en cada etapa se deben analizar las alternativas de decisión en función del impacto que éstas pudieran tener en otras fases del modelo, ya que como se explicó en la sección 3.7 la optimización del funcionamiento del sistema sólo puede lograrse mediante un proceso integrado

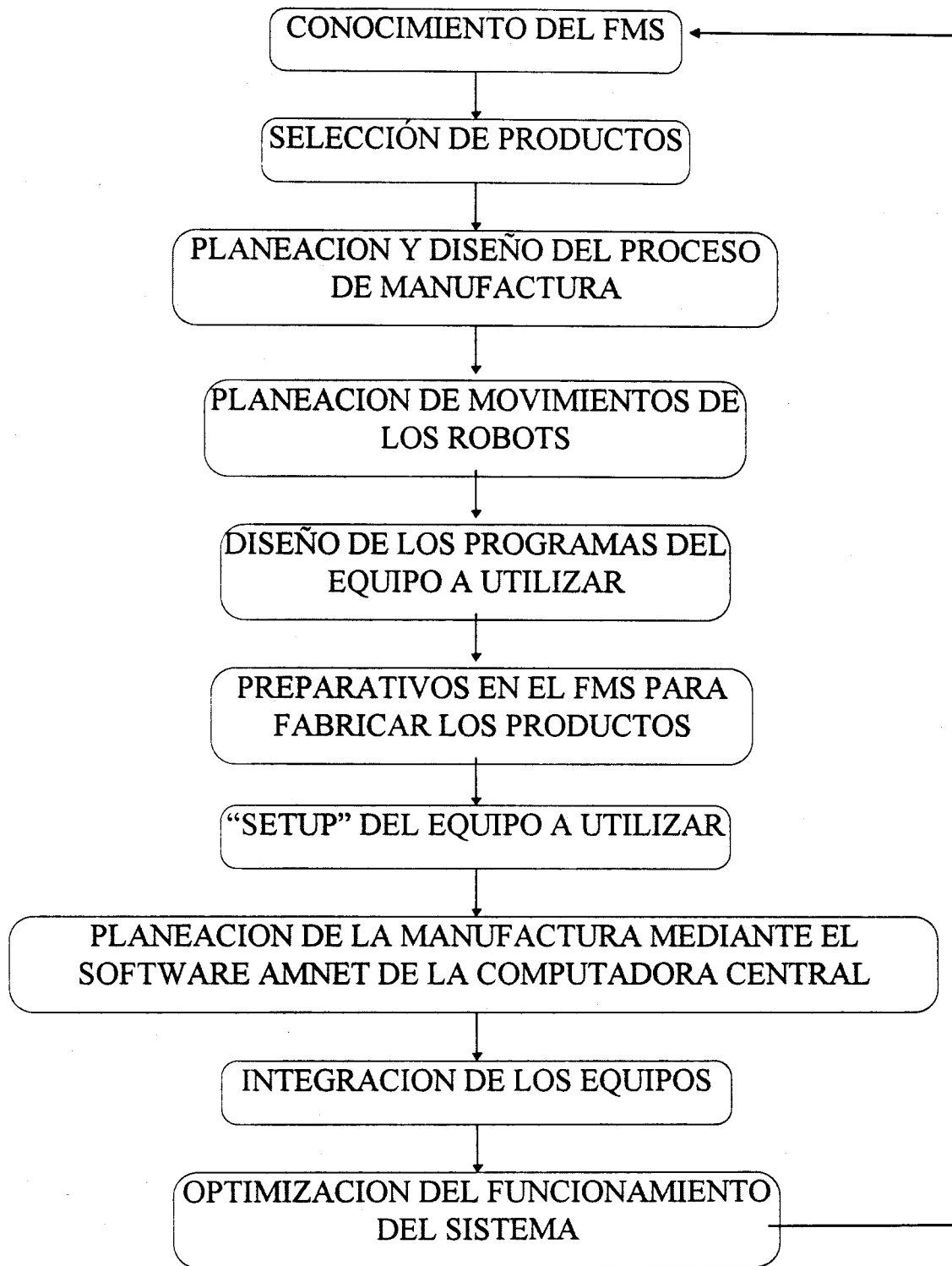


Figura 47. Modelo de optimización del funcionamiento del FMS

Capítulo 4

CONCLUSIONES

Capacitación. Aunque el grado de automatización sea muy avanzado, ningún sistema de manufactura funciona por sí mismo, se requiere necesariamente de la intervención de personas. Es fundamental que las personas que van a trabajar con un sistema flexible de manufactura conozcan las características de diseño del sistema en su conjunto, así como, las de cada una de las partes que lo integran, para tener una visión integrada de las ventajas y limitaciones del mismo.

El saber operar técnicamente el equipo, no es suficiente para optimizar su funcionamiento, también se deben tener conocimientos sobre planeación y diseño de manufactura, lógica de programación, herramientas estadísticas, y criterios de análisis para la toma de decisiones.

Por lo anterior, si se pretende optimizar el funcionamiento de un sistema flexible de manufactura, es de vital importancia capacitar al personal.

Enfoque del sistema. Flexibilidad no significa que el sistema sea capaz de procesar cualquier cosa que se nos ocurra. Es importante tener claridad en cuanto a las familias de partes que el sistema es capaz de procesar, antes de decidir producir un nuevo producto.

No se deben perder de vista las características de diseño del sistema, ya que la optimización de su funcionamiento depende en gran medida de esto.

En particular, las características de diseño del Sistema Flexible de Manufactura instalado en el ITESM campus Sonora norte, le brindan un alto grado de flexibilidad, lo que le permite reaccionar rápidamente ante los cambios tanto de demanda como de diseño del producto ; esto, siempre y cuando no se pierda de vista los sistemas de preparación rápida de la maquinaria.

Planeación. Conforme lo expliqué en el desarrollo del presente trabajo, la planeación en todos los niveles juega un papel muy importante para lograr la optimización del funcionamiento del sistema.

Corridas de producción de mezcla de productos. Al aplicar el modelo propuesto en la fabricación de tres productos, encontré que el hacer corridas de mezclas de productos, permite reducir los tiempos de procesamiento e incrementa la utilización del equipo

Por lo tanto, si de tiene un sistema flexible de manufactura no se recomienda hacer corridas de producción por lotes, ya que al hacerlo se perdería una de las principales ventajas de este tipo de sistemas.

Calidad Uniforme. Es importante resaltar que la calidad de los productos procesados por el sistema es uniforme. Esto significa que si el primer producto fabricado cumple con las especificaciones de calidad, todos los que se procesen posteriormente también cumplirán, si no se hizo ninguna modificación al sistema; lo mismo ocurre en caso contrario.

Enfoque sistémico. El optimizar el equipo en forma aislada, no nos conduce necesariamente al óptimo desde un punto de vista global..

El modelo de optimización que propongo, enfoca al sistema como un todo integrado; el aplicarlo nos lleva a realizar de manera concurrente las funciones de diseño, planeación y preparación de manufactura considerando las características de diseño del sistema flexible de manufactura.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los puntos utilizados en los programas de los robots

Anexo 2. Reportes estadísticos de producción de las diferentes configuraciones simuladas con el software AMNET

ANEXO 1

1.- Programa MABMIT diseñado para el robot Mitsubishi de la Estación 6, para realizar el ensamble de la bisagra.

Punto	Descripción
300	Posición compacta para desplazarse en el riel
301	Frente alimentador de parte 1 de bisagra en estación 6
302	Sobre la parte 1 de la bisagra en el alimentador
303	Listo para tomar la parte del alimentador
304	Sobre parte 2 de bisagra en estación 6
305	Listo para ensamblar parte 1 y parte 2 de bisagra
306	Frente estación 6, espera llegada del pallet

2.- Subrutinas del programa MAPUMA diseñado para el robot PUMA que atiende las estaciones 2 y 3, para realizar las operaciones de carga, posicionamiento y descarga de las partes en el torno y la fresadora.

Punto	Descripción
est21	Frente a la estación 2
est22	Frente a la pieza del pallet en la estación 2
est23	Listo para sujetar la pieza del pallet en la estación 2
est24	Encima del pallet
est31	Frente a la estación 3
est32	Sobre pieza del pallet en estación 3
est33	Posición alta para tomar pieza del pallet en estación 3
est34	Listo para sujetar la pieza del pallet en la estación 3
fregir	Encima de mordaza del VMC. Muñeca girada
frelad	Coloca pieza de lado en la mordaza del VMC
fresa	Posición compacta listo para desplazarse en el riel
fre1	Frente a la puerta del VMC
fre2	Dentro del VMC encima de la mordaza (20cm)
fre3	Posiciona pieza al nivel de la mordaza del VMC
fre4	Posiciona contra topes del frente de la mordaza del VMC
fre5	Frente a la mordaza del VMC
tor1	Frente a puerta del torno KRYLE

tor2 Dentro del torno
tor3 Frente al chuck del torno
tor4 Pieza dentro del chuck. Lista para que se cierre

3. Programa MATJUP utilizado por el robot JUPITER para ensamblar la tarjeta electrónica.

Punto	Descripción
1	Frente estación de herramientas
2	Sobre alimentadores
3	Punto de retirada cuando termina un ensamble
4	Sobre alimentador 4
5	Sobre pieza en alimentador 4
6	Listo para cerrar gripper y tomar pieza de alimentador 4
7	Entre tarjeta y alimentadores, (punto alto)
8	Sobre punto de ensamble de parte 1
9	Sobre punto de ensamble parte 1, girado para abrir gripper
10	Posicionado exactamente para ensamblar parte 1
11	Ensambla parte 1
12	Sobre alimentador 3
13	Sobre pieza en alimentador 3
14	Listo para cerrar gripper y tomar pieza de alimentador 3
15	Sobre punto de ensamble parte 2, girado para abrir gripper
16	Posicionado exactamente para ensamblar parte 2
17	Ensambla parte 2
18	Sobre tornillo izquierdo parte 1
19	Exactamente sobre tornillo izq. parte 1
20	Sobre tornillo derecho parte 1
21	Exactamente sobre tornillo derecho parte 1
22	Sobre tornillo izquierdo parte 2
23	Exactamente sobre tornillo izq. parte 2
24	Sobre tornillo derecho parte 2
25	Exactamente sobre tornillo derecho parte 2
26	Sobre punto de ensamble parte 3
27	Posicionado exactamente para ensamblar parte 3
28	Ensambla parte 3

- 30 Sobre alimentador 2
 - 31 Sobre pieza en alimentador 2
 - 32 Listo para sujetar pieza en alimentador 2
 - 61 Sobre herramienta número 1
 - 62 Coloca herramienta 1, (Listo para cerrar gripper)
 - 63 Levanta herramienta número 1.
 - 64 Frente herramienta número 1
 - 66 Sobre herramienta número 2
 - 67 Coloca herramienta número 2, (Listo para cerrar gripper)
 - 68 Levanta herramienta número 2
 - 69 Frente herramienta número 2
 - 71 Sobre herramienta número 3
 - 72 Coloca herramienta número 3 (Listo para cerrar gripper)
 - 73 Levanta herramienta número 3
 - 74 Frente herramienta 3 (fuera)
 - 75 Esquina frontal derecha de la estación de herramientas
 - 79 Esquina frontal izquierda de la Estn. de herramientas.
 - 80 Entre alimentadores y Estn. de herramientas
 - 85 Punto para realizar inspección (cámara sobre tarjeta)
-

ANEXO 2

AMATROL PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT11 time : 21:31:35 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :

samples = 1
mean time per assembly = 490
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :

samples = 1
mean time per assembly = 490
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :

samples = 1
mean time per assembly = 490
standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :

samples = 6
mean station cycle time = 5
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 93

Station # 2 :

samples = 1
mean station cycle time = 300
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 38

Station # 3 :

samples = 1
mean station cycle time = 200
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 59

Station # 4 :

samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 5 :

samples = 1
mean station cycle time = 240
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 51

Station # 6 :

samples = 1
mean station cycle time = 70
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 85

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

Job : MAT24 time : 23:44:38 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 500
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 500
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 500
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 6
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 93

Station # 2 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 40

Station # 3 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 60

Station # 4 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 10
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 98

Station # 5 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 51

Station # 6 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 86

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT23 time : 23:39:13 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 24
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 16

Station # 3 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 44

Station # 4 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 10
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 97

Station # 5 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 33

Station # 6 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 80

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT22 time : 23:32:46 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 336.25
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 336.25
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 336.25
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 48
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 10

Station # 3 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 40

Station # 4 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 10
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 97

Station # 5 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 28

Station # 6 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 79

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT21 time : 21:20:41 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
samples = 16
mean time per assembly = 335
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
samples = 16
mean time per assembly = 335
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
samples = 16
mean time per assembly = 335
standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
samples = 96
mean station cycle time = 5
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 91

Station # 2 :
samples = 16
mean station cycle time = 300
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 10

Station # 3 :
samples = 16
mean station cycle time = 200
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 40

Station # 4 :
samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 5 :
samples = 16
mean station cycle time = 240
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 28

Station # 6 :
samples = 16
mean station cycle time = 70
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 79

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT19 time : 22:15:41 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 48
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 10

Station # 3 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 40

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 28

Station # 6 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 79

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT18 time : 21:14:44 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 335
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 48
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 10

Station # 3 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 40

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 28

Station # 6 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 79

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT16 time : 23:22:31 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :

samples = 8
mean time per assembly = 330
standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :

samples = 16
mean station cycle time = 5
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 96

Station # 2 :

samples = 8
mean station cycle time = 300
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 9

Station # 3 :

samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 4 :

samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 5 :

samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 6 :

samples = 8
mean station cycle time = 70
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 78

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT15 time : 23:15:04 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 232.5
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 16
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 95

Station # 2 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 3 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 13

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 6 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT14 time : 23:06:38 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 8
 mean time per assembly = 293.75
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 16
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 96

Station # 2 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 3 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 8
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 18

Station # 6 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT13 time : 22:57:36 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 24
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 16

Station # 3 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 44

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 33

Station # 6 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 80

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT121 time : 22:51:13 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :

samples = 4
mean time per assembly = 360
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :

samples = 4
mean time per assembly = 360
standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :

samples = 4
mean time per assembly = 360
standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :

samples = 24
mean station cycle time = 5
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 91

Station # 2 :

samples = 4
mean station cycle time = 300
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 16

Station # 3 :

samples = 4
mean station cycle time = 200
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 44

Station # 4 :

samples = 0
mean station cycle time = 0
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 100

Station # 5 :

samples = 4
mean station cycle time = 240
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 33

Station # 6 :

samples = 4
mean station cycle time = 70
standard deviation of cycle time = 0
percent idle time = 80

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT10 time : 22:35:27 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 4
 mean time per assembly = 360
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 24
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 91

Station # 2 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 16

Station # 3 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 44

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 33

Station # 6 :
 samples = 4
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 80

**AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT**

job : MAT91 time : 22:24:14 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 6
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 93

Station # 2 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 38

Station # 3 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 59

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 51

Station # 6 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 85

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MATS1 time : 21:25:19 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 1
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 6
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 93

Station # 2 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 38

Station # 3 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 59

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 51

Station # 6 :
 samples = 1
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 85

AMATROL
PRODUCTION STATISTICS REPORT

job : MAT71 time : 21:24:22 date : 10-30-1996

Group Statistics Printout

Assembly # 1 :
 samples = 3
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 2 :
 samples = 3
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Assembly # 3 :
 samples = 3
 mean time per assembly = 490
 standard deviation of time per assembly = 0

Station # 1 :
 samples = 18
 mean station cycle time = 5
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 93

Station # 2 :
 samples = 3
 mean station cycle time = 300
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 38

Station # 3 :
 samples = 3
 mean station cycle time = 200
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 59

Station # 4 :
 samples = 0
 mean station cycle time = 0
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 100

Station # 5 :
 samples = 3
 mean station cycle time = 240
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 51

Station # 6 :
 samples = 3
 mean station cycle time = 70
 standard deviation of cycle time = 0
 percent idle time = 85

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adam, Everett E. (1991).Administración de la Producción y las operaciones, 4ta. Ed. Prentice Hall

Amatrol, Inc. Manuales de usuario:

Application of machine vision to inspection. A laboratory manual for use with the 866-VS VISION SYSTEM, B602 (1989)

Computer Integrated Manufacturing laboratory manual, B601 (1992)

Computer Integrated Manufacturing software reference guide, (1989)

JUPITER XL laboratory manual, B677 (1985)

Bedworth, David D., James E. Bailey (1987) Integrated production control systems. John Wiley & Sons..

Bimal K. Modi, Kripa Shanker.(1994) "A formulation and solution methodology for part movement minimization and workload balancing at loading decisions in FMS". International journal of Production Economics.34 p73-82

Buffa, Elwood Spēncer.(1980).Administración y Dirección Técnica de la Producción. Mex.:Ed LIMUSA

Chasse, Richard B. and Nicholas J. Aquilano (1992). Production and operations management: a life cycle approach. 6th Ed. Homewood,IL:Irwin.

Diplomado en Manufactura. (1993). Centro de Sistemas Integrados de Manufactura, ITESM. Mex.

Fogarty, Donald W., Hoffmann, Thomas R., and Stonebraker, Peter. (1989). Production and Operations Management.South Western Publishing Co.

- Goldratt Eliyahu M.(1988)."Computarizad Shop Floor Scheduling".International Journal of Production Research. 26, No.3, pp443-455
- Goldratt Eliyahu M. (1989). The General Theory of Constraints, New Haven, Conn.: Abraham Y. Goldratt Institute.
- Goldratt Eliyahu M. y Jeff Cox (1991). La meta: un proceso de mejora continua.Monterrey, N.L.: Ed. Castillo
- Goldratt Eliyahu M. y Robert E. Fox. (1993). La carrera. Monterrey, N.L.: Ed. Castillo.
- Goldratt Eliyahu M. (1992). El síndrome del pajar. Monterrey, N.L.: Ed. Castillo
- Goldhar, Joel D. and Jelinek,Mariann. (1983). "Plan for Economics of Scope",Harvard Business Review (Nov-Dec 1983) pag.141-148
- Groover, Weiss, Nagel y Odrey (1993). Robotica Industrial. Tecnología, programación y aplicaciones .México, D.F. ; Ed. Mc.Graw-Hill
- Groover, Mikell P. (1987). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing. Englewood Cliffs, NJ.: Ed. Prentice Hall.
- Handbook of flexible manufacturing systems/edited by Nand K. Jha (1991). San Diego, C.: Academic Press
- Jasinowski, Jerry and Hamrin, Robert. (1994). Making it in America, Soundview.
- Materials Handling handbook,/edited by Kulwiec,R.A.(1985).N.Y.: John Wiley and Sons
- Mitsubishi Electric Corporation (1990). Mitsubishi Industrial micro-robotssystems, model RV-M1. Instruction Manual.

Nof, Shimon Y., Whinston, Andrew B., and Bullers, William I. (1980). "Control and Decision Support in Automatic Manufacturing Systems". AIEE Transactions. Vol.12, No.2 pag.156-169

Productividad.(1988). "Flexibilidad en los Sistemas de Manufactura". Sept-Oct.

Schonberger, Richard J. (1987). *Manufactura de Categoría Mundial. Aplicación de las últimas técnicas para optimizar la producción*. Colombia: Ed. Norma

Starr, Martion K. and Biloski, Alan J.(1984). "The decision to adopt new technology-Effects on organizational Size", Omega, Vol.12, No 4 pag.353-361

Stecke, Kathryn E. and Solberg, James J.(1981). "Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol.19, No. 5 pag.481-490

The Materials Handling Institute.(1977). "Considerations for planning and installing an Automated Storage/Retrieval System, Pittsburgh, Pa.

Tocci, Ronald J. (1993). *Sistemas Digitales, principios y aplicaciones*. México, D.F. : Ed. Prentice Hall

Turban, Efrain. (1991). *Decision Support and Expert Systems*. McMillan Publishing.

Unimation, (1985). Programming Manual, User's guide to VALII.

Villarreal González José Ines (1994) "Modelo Tecnológico de planeación e implementación de la manufactura integrada por computadora para un ambiente de apertura comercial". Tesis de Maestría. ITESM , Mty N.L.

Whitney, Daniel.(1988). Manufacturing by Design. Harvard Business Review. July-August 1988

