

96.
21



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**CELDA DE ALIMENTACION Y ALMACENAMIENTO
DE MATERIAL PARA UN SISTEMA DE
MANUFACTURA FLEXIBLE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
AREA ELECTRONICA
P R E S E N T A N :
FRANCISCO HERNANDEZ RAMIREZ
JOSE GABRIEL PEREZ HERNANDEZ



DIRECTOR DE TESIS: M. I. ARMANDO ORTIZ PRADO

CD. UNIVERSITARIA.

VERANO DE 1996.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES

Por su ejemplo, su cariño y sacrificios para brindarme esta gran oportunidad lejos de casa y de ustedes.

A MIS HERMANOS

Por sus consejos y su apoyo siempre incondicional.

A MIS MAESTROS

Por todas sus enseñanzas, las cuales quedan plasmadas en este trabajo.

A MIS AMIGOS

Por compartir conmigo tantos sueños e ilusiones y por haber sido como otra familia para mí.

GRACIAS.

FRANCISCO HERNANDEZ RAMIREZ

A DIOS

Quién aún en los tiempos más difíciles siempre estuvo presente

A MIS PADRES

Por su valiosa ayuda a lo largo de toda la vida. A tí Mamá por tus bendiciones y alicientes para continuar con mis estudios.

A MIGUEL C. Y FERNANDO R.

Por su apoyo incondicional durante todos estos años y a quienes considero como parte de la familia.

A MIS AMIGOS

Por los grandes momentos compartidos.

A LA UNIVERSIDAD

Por concederme la oportunidad de una formación profesional.

José Gabriel Pérez Hernández.

AGRADECIMIENTOS GENERALES

A EL M. I. ARMANDO ORTIZ PRADO

Por el tiempo dedicado a la dirección de esta tesis y por sus invaluable consejos para la realización de la misma.

A EL M. I. UBALDO MARQUEZ AMADOR

Por las facilidades otorgadas al permitirnos realizar el Servicio Social y sentar así las bases para el presente trabajo.

A EL M. I. JAVIER CERVANTES C.

Por su asesoría y apoyo en el uso de equipo para la construcción del brazo mecánico.

A EL ING. J. RODELMAR OCAMPO

Por la información y material bibliográfico proporcionados que fueron de gran ayuda.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

Por brindarnos su generosa educación para nuestra formación personal y profesional.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS

Que con sus observaciones, críticas y comentarios contribuyeron en gran medida a la elaboración del proyecto.

Sr. Amadeo Lara

Sr. Enrique Velasco

Ing. Fidencio Mendoza

Biol. Germán Álvarez L.

Ing. Héctor Delgado M.

Biol. Héctor Lara

Ing. Jorge Rodríguez O.

M. I. Leopoldo González G.

Ing. Samuel Pérez G.

Ing. Sara Cerrud

A todo el personal que labora en el CDM.

INDICE

PAG.

INTRODUCCION

1. MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA

1.1 El modelo CIM.....	1
1.2 Los Sistemas de Manufactura Flexible.....	7
1.3 El Punto de Vista Económico.....	22
1.4 El Punto de Vista Social.....	25

2. ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES

2.1 Sistemas de Almacenamiento.....	28
2.2 Transferencia de Material y Carga/Descarga de Máquinas.....	33
2.3 Consideraciones Generales en el Manejo de Materiales por Robots.....	41

3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

3.1 Planteamiento del Problema.....	46
3.2 Alternativas de Solución.....	49
3.3 Criterios de Solución.....	54
3.4 Diseño del Sistema.....	57

4. CONSTRUCCION Y PRUEBAS AL ALMACEN

4.1 Generalidades del Almacén.....	64
4.2 Sistema de Control.....	67
4.3 Sistema Neumático.....	70
4.4 Sistema Eléctrico.....	78
4.5 Pruebas.....	82

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

INTRODUCCION

Con la apertura comercial ha aparecido en el mercado nacional una gran variedad de productos, lo que obliga a la industria nacional a la manufactura de los mismos con una mejor calidad y a costos accesibles. El propósito de las empresas manufactureras es convertir las materias primas en productos terminados, al menor costo, con mínimas pérdidas de material y mínimo uso de energía.

Considerando las características actuales del mercado nacional, y la competitividad existente en el mismo, el aumento de los costos de las materias primas, la necesidad de mejorar la calidad de los productos, la demanda de rapidez en la entrega de éstos, la reducción de productos almacenados y muchos factores más, presionan a las empresas del sector manufacturero, obligándolas a modificar las formas de trabajo. Las metas actuales de una empresa manufacturera, son las de procesar las órdenes de compra en el menor tiempo posible, sin pausas para ajustes de máquina ni cambios de herramientas, para entregar productos de alta calidad y a bajo costo.

Por otra parte, el alto grado de desarrollo tecnológico que se ha experimentado en los últimos años, obliga a las industrias de la transformación a la realización de estudios encaminados a la reorientación y optimización de sus recursos tanto financieros como de manufactura y humanos.

Por lo expuesto, se presentan algunas técnicas para la modelación, simulación y control de estos sistemas de manufactura automatizados. Se estima que estos sistemas, o parte de ellos, pueden ser adaptados y usados en países

en desarrollo como es el caso de México, obteniendo importantes beneficios tales como productos elaborados con buena calidad y de mayor valor agregado.

La idea principal en la fabricación y operación de un Sistema de Manufactura Flexible es coadyuvar a la formación profesional de los estudiantes de ingeniería mediante el conocimiento básico de los aspectos que involucra este sistema.

El objetivo del presente trabajo es el de proporcionar una solución a un problema específico utilizando elementos comerciales con el fin de alimentar y almacenar material dentro de un Sistema de Manufactura Flexible de tipo didáctico, de esta manera se plantean cuatro capítulos, en el primero se describe la importancia de la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) en la industria, así como los Sistemas de Manufactura Flexible; en el segundo se lleva a cabo un estudio de los sistemas de almacenamiento y la transportación de materiales, considerando además, el manejo de los mismo mediante robots. El tercero propone algunas alternativas de solución y los criterios para la elección del sistema. El cuarto y último capítulo aborda la construcción del almacén, el sistema de control, el sistema neumático y el sistema eléctrico para concluir con las pruebas.

CAPITULO 1

MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA

1.1 EL MODELO CIM.

El alto grado de desarrollo tecnológico que se ha experimentado a últimas fechas ha llegado a la industria de la transformación. El estudio de los métodos de la administración científica junto con los de procesos industriales, van encaminados a la optimización de los recursos, tanto financieros como materiales y humanos.

En este sentido, con el desarrollo tecnológico se ha incrementado la posibilidad de obtener productos de mejor calidad y a un menor costo, lo que implica la aparición de una gran cantidad de productos en el mercado mediante los cuales los consumidores tienen la posibilidad de satisfacer sus necesidades con un alto grado de confiabilidad.

La Manufactura Integrada por Computadora - CIM, en su concepción más general, implica un nivel de automatización que va desde el mismo pronóstico de ventas, pasando por el control de inventarios, control de procesos, etc..., hasta una distribución de productos terminados y servicio al cliente.

Esto plantea una globalización de automatización de la empresa, por lo que su implantación debe ser observada con extremo cuidado tanto por la alta gerencia, como por el personal asignado a tan importante proyecto.

El objetivo de la Manufactura Integrada por Computadora, CIM, es tener una base de datos común a través de una red computacional en toda la empresa, que integra las funciones de gestión administrativa, la ingeniería y la producción.

"El CIM, según definición de la American Association of Engineering Society es la combinación de equipo hardware y programas, base de datos y comunicaciones que permite:

- 1) Una automatización flexible de la producción*
- 2) Una optimización continua de la programación y productividad de las instalaciones.*
- 3) Control del flujo de información de materiales y operaciones en ciclo cerrado.*
- 4) Coordinación y reasignación dinámica de los recursos."*

El modelo CIM, utiliza la computadora para diseñar productos, planificar la producción, controlar los procesos de manufactura, y apoyar las actividades relacionadas con los negocios de la empresa.

¹Cfr. Ferré Masip, Rafael; *La Fábrica Flexible*; Marcombo, Barcelona, 1988, pág. 144.

El CIM es un modelo conceptual de manufactura que relaciona las actividades físicas, asociadas con la producción que se realiza en la industria, con las actividades de procesamiento de la información, que implican actividades de ingeniería, como el diseño de un producto y la planificación de la producción, que usualmente ocurre en una oficina, y con la gestión empresarial.

Las actividades físicas incluyen funciones de producción en la fabricación, el ensamblado, el manejo de materiales y el control de calidad (inspecciones y pruebas) que son realizadas sobre un producto.

Las actividades de procesamiento de la información requieren funciones de gestión (marketing y ventas, órdenes de fabricación, pagos, etc.) y funciones de ingeniería (diseño de productos, planificación de la producción y el control de la producción). Estas funciones forman un ciclo de eventos que acompañan a las actividades de producción.

A diferencia de otros proyectos de automatización convencionales, la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) es un proyecto que no puede llevarse a cabo en un horizonte de planeación a corto o mediano plazo, ya que un proyecto de tal envergadura y complejidad debe ser planeado a largo plazo, por lo que es recomendable que se empiece a trabajar de forma modular, es decir, empezar con una celda de producción y hasta el momento en que responda de forma adecuada a las necesidades del sistema CIM en general, seguir adelante; Baumgartner y Knishewski consideran que:

El CIM es un modelo conceptual de manufactura que relaciona las actividades físicas, asociadas con la producción que se realiza en la industria, con las actividades de procesamiento de la información, que implican actividades de ingeniería, como el diseño de un producto y la planificación de la producción, que usualmente ocurre en una oficina, y con la gestión empresarial.

Las actividades físicas incluyen funciones de producción en la fabricación, el ensamblado, el manejo de materiales y el control de calidad (inspecciones y pruebas) que son realizadas sobre un producto.

Las actividades de procesamiento de la información requieren funciones de gestión (marketing y ventas, órdenes de fabricación, pagos, etc.) y funciones de ingeniería (diseño de productos, planificación de la producción y el control de la producción). Estas funciones forman un ciclo de eventos que acompañan a las actividades de producción.

A diferencia de otros proyectos de automatización convencionales, la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) es un proyecto que no puede llevarse a cabo en un horizonte de planeación a corto o mediano plazo, ya que un proyecto de tal envergadura y complejidad debe ser planeado a largo plazo, por lo que es recomendable que se empiece a trabajar de forma modular, es decir, empezar con una celda de producción y hasta el momento en que responda de forma adecuada a las necesidades del sistema CIM en general, seguir adelante; Baumgartner y Knishewski consideran que:

"...CIM no es un producto que se pueda adquirir sino, más bien, una estrategia y un concepto que permite alcanzar los objetivos específicos de la empresa."²

La elaboración del concepto CIM adaptado a las necesidades de la empresa es uno de los hitos más importantes al iniciar un proyecto CIM. Es el resultado de una serie de condiciones estratégicas de la empresa y constituye, por lo tanto, la base para hacerlo realidad. Parte de los interesados en el CIM tienen la idea de que una solución CIM puede sencillamente comprarse, instalarse y aplicarse.

Al pensar en la Manufactura Integrada por Computadora (CIM), se exige una forma de proceder que va más allá del proyecto de una instalación normal de tratamiento de datos, por ello se consideran las siguientes recomendaciones:

- El objetivo es alcanzar una optimización técnica y económica global.
- Algunos de los sistemas parciales existentes deberán integrarse dentro del concepto CIM.
- Los conceptos CIM son siempre soluciones específicas para cada empresa y no existe ninguna solución CIM estándar.

²Baumgartner, H., Knishowski, K.: CIM. Consideraciones básicas, Marcombo, Barcelona, 1991. pág. 11.

- Aunque los módulos CIM que pueden obtenerse en el mercado asistan a los aspectos técnicos dentro de un concepto CIM, no pueden ser por sí solos la solución (organización, funcionalidad, integración, ...).

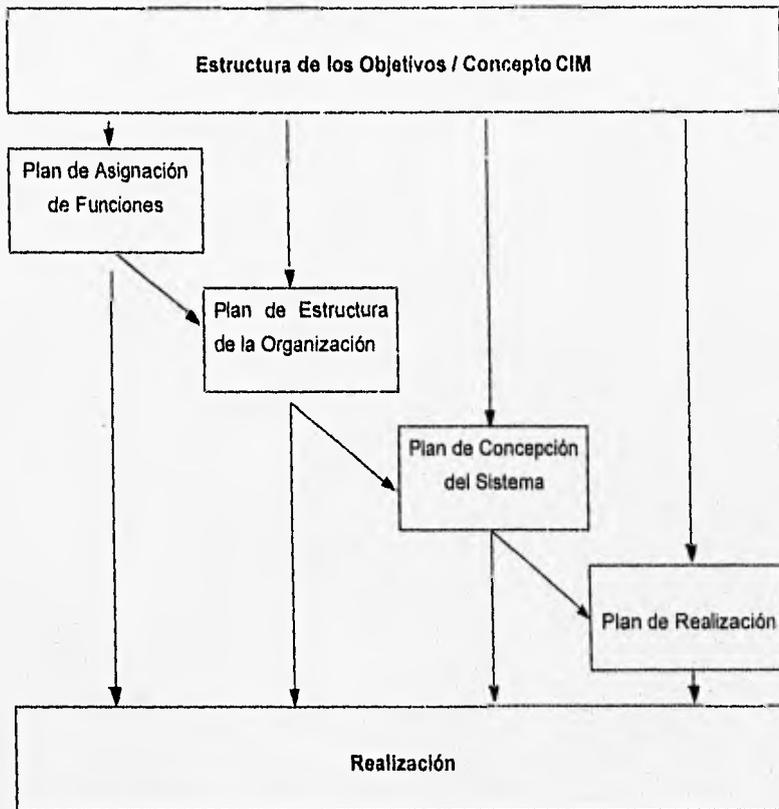


Figura 1.1

Plan General de Implantación del CIM.

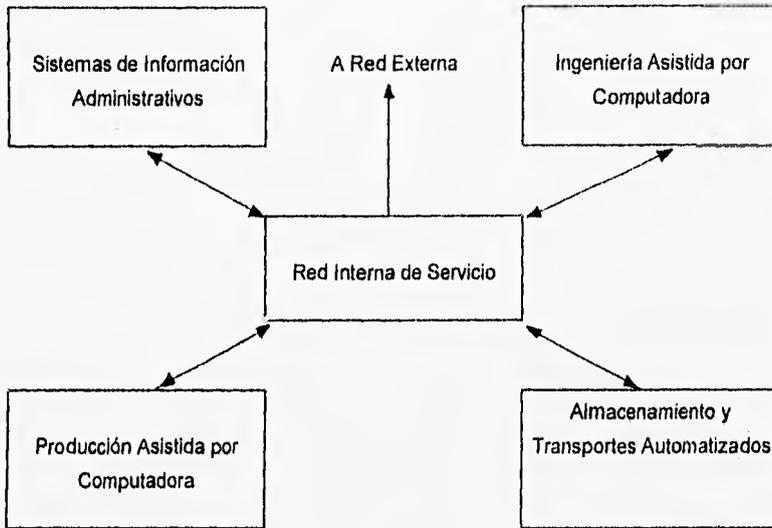


Figura 1.2
Componentes del Sistema CIM

La figura 1.2 muestra el modelo CIM en el que se pueden observar los componentes de este sistema de automatización integral; el sistema de información administrativo SIA, la ingeniería asistida por computadora, y el almacenamiento automatizado, que incluye el transporte de los materiales y piezas.

1.2. LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS).

Sistemas de Manufactura.

La manufactura significa hacer artículos y objetos por procesos industriales y abarca muchas ramas de la industria como la farmacéutica, alimentos, maquinaria, electricidad, calzado, entre otras, donde cada una de estas ramas tiene su propia tecnología.

El término "manufactura" refleja su significado original : hacer a mano. Sin embargo, hoy en día la manufactura se efectúa principalmente mediante maquinaria, es por tanto que la actividad de la cual dependen todas las ramas de la manufactura es el diseño y la fabricación de maquinaria.

Los sistemas de manufactura o producción están compuestos por un conjunto de unidades de producción organizadas según el objetivo y la cantidad de producción, donde por su flexibilidad se pueden clasificar en:

- 1.- Módulos de producción flexible.
- 2.- Celdas flexibles de producción.
- 3.- Sistemas de manufactura flexible.

La creciente demanda de un gran número de artículos industriales y de consumo propició el desarrollo y optimización de las líneas de producción, que mejoraron a raíz

de la implantación de los sistemas automatizados a través del uso de la computadora en la manufactura.

Las computadoras vigilan y controlan una serie de factores en las máquinas de los sistemas de manufactura, y también se emplean para diseñar o perfeccionar los sistemas o mecanismos de producción. La habilidad de la computadora para almacenar los datos y para comunicarlos hacia otras estaciones la convierten en parte central de la fábrica automatizada.

Sistemas Automatizados.

La automatización de un proceso industrial depende de la capacidad de control que exista del propio proceso con poca o ninguna ayuda por parte humana. En general, el control conlleva el arranque, la suspensión y la regulación del movimiento, de la posición o del flujo de cada uno de los componentes del mismo.

"La automatización es el desempeño de operaciones automáticas dirigidas por medio de comandos programados con una medición automática de la acción, retroalimentación y toma de decisiones."³

³Ross, M.H.: *Automated manufacturing*, Mc Graw Hill, EE.UU, 1987, pág. 32

Las máquinas y sistemas son el resultado de los avances tecnológicos los cuales se relacionan principalmente en la manufactura. La automatización en la manufactura abarca 4 áreas primarias de la producción:

- 1.-Equipos de producción
- 2.-Equipos de transferencia
- 3.-Equipos de inspección
- 4.-Equipos de ensamble

El aumento en la producción se ha logrado con el empleo de aparatos automáticos en las líneas de producción. Los adelantos en el equipo incluyen sujetadores, máquinas y sistemas de control.

Asimismo, la capacidad para controlar depende usualmente de las posibilidades que existan para monitorear o medir variables durante el proceso, de modo que pueda asegurarse que el producto final será exactamente como el deseado. Un sistema con todas estas capacidades es lo que se conoce como un sistema de control.

Las entradas del sistema de control consisten en sensores capaces de medir el estado de las variables más importantes del proceso sin embargo, el auténtico núcleo del sistema es el controlador electrónico.

*"La clave de una automatización con éxito radica en la utilización de electrónica de alta tecnología, que proporcione un sistema flexible de fabricación por medio de sistemas electrónicos programables."*⁴

La inspección dentro de un proceso de producción automatizado es vital para asegurar la calidad del producto, esta se efectúa durante todas las etapas de la producción.

La aplicación de la automatización electrónica a los procesos industriales ha dado como resultado varios tipos de sistemas automáticos.

Estos tipos pueden clasificarse de la forma siguiente:

- 1.-Máquinas de control numérico.
- 2.-Controladores programables.
- 3.-Sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos.
- 4.-Sistemas de manufactura flexibles (FMS)."

Máquinas de control numérico.

El primer tipo de sistemas automáticos está formado por las máquinas de control numérico, en las cuales la posición de la herramienta capaz de taladrar, afilar, modelar

⁴Schmitt, Neil, Farwel, Robert; *Robótica y Sistemas Automáticos*; Anaya, Madrid, 1988, pág. 14.

o fresar, se controla a través de los valores de tres coordenadas. De este modo son posibles incrementos en la productividad del 300 %.

Una máquina de control numérico puede ser controlada de dos formas diferentes:

1. Mediante control continuo de la trayectoria que debe seguir la herramienta, cuando el trabajo en la pieza debe de ser continuo o casi continuo.
2. Mediante control punto a punto de dicha trayectoria, cuando el trabajo sobre la pieza debe realizarse únicamente en puntos discretos de la misma.

Controladores programables.

Los controladores programables son exactamente lo que su nombre implica. Son dispositivos compactos que no sólo son capaces de controlar un proceso o una máquina, sino que también pueden ser programados o reprogramados con rapidez, si surge la necesidad. A menudo suele existir un teclado o una consola conectada directamente al controlador a fin de permitir su programación.

Estos dispositivos varían mucho de unos a otros en lo que se refiere a complejidad de las operaciones que son capaces de controlar, pero pueden ser

conectados a un miniordenador o a un microordenador, y funcionar de modo similar a una máquina de control numérico (NC), con un aumento considerable de flexibilidad.

Sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos.

Las actividades que se desarrollan en los almacenes giran en torno al almacenamiento y operaciones de inventario de piezas o materiales, para su posterior embarque o utilización.

En los sistemas automatizados, un ordenador situado en un lugar alejado del almacén puede controlar los elevadores, grúas o transportes similares, y recibir, almacenar y recuperar los objetos que se inventarían. El control del inventario es preciso y los objetos pueden ser embarcados para su transporte o utilizados según la fecha de recepción.

Robots

Un robot es un dispositivo controlado por un ordenador capaz de moverse en una o más direcciones, a la vez que realiza una secuencia de operaciones dada. Una máquina de control numérico (NC) puede considerarse un robot, pero usualmente la aplicación de dicho término se restringe a aquellos dispositivos que son capaces de

realizar movimientos similares a los de los humanos, particularmente a los del brazo y de la mano.

"Un robot industrial, es un manipulador multifuncional reprogramable capaz de mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según varias trayectorias: programado para realizar trabajos diversos."⁶

Un robot podría ser la elección adecuada para la realización de una tarea relativamente simple, repetitiva o potencialmente peligrosa para un ser humano. La inteligencia de los robots se incrementa sensiblemente a partir de la alta tecnología y esto, junto con la adición de vista y de oído, permitirá que cada vez realicen tareas más complejas.

Sistemas de Manufactura Flexible.

La incorporación de máquinas NC, robots y ordenadores a una cadena de montaje da origen a lo que se conoce como un sistema de manufactura flexible. Los cuales, representan el primer intento para automatizar la producción; de hecho las máquinas de control numérico (CNC) bien pudieran ser consideradas como los primeros robots.

La evolución de los procesos y sistemas de manufactura se encuentran en un estado de transición desde la operación manual hasta la completa manufactura

⁶Cfr.; Audi Plera, Daniel; Como y cuando aplicar un robot industrial, Anaya, Madrid, 1988, pág. 13

integrada. El paso que precede a la manufactura integrada por computadora (CIM), se denomina un Sistema de Manufactura Flexible, FMS (Flexible Manufacturing System).

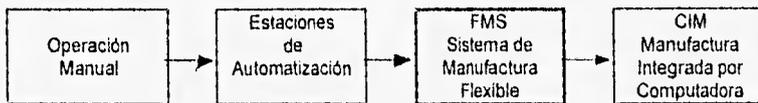


Fig. 1.3

Estados de Transición de los Procesos de Manufactura.

En un panorama más general de automatización, la manufactura integrada por computadora (CIM), abarcaría a los Sistemas de Manufactura Flexible (FMS), es decir, éstos serían parte componente de un sistema más amplio de automatización.

Sistema de Fabricación Flexible (FMS).⁶

Características Típicas

- máquinas con encadenamiento flexible,
- máquinas que se complementan y sustituyen,

⁶Baumgartner, H., Knishevski, K.; *CIM Consideraciones básicas*, Marcombo, Barcelona, 1991, pág. 157.

- combina las ventajas del principio del taller y del principio de la fabricación continua
- el flujo de materiales y el mecanizado presentan un alto grado de automatización.

Un Sistema de Manufactura Flexible (FMS) es una máquina individual o un grupo de máquinas que funcionan mediante un sistema automático de manejo de materiales, todo esto controlado por medio de una computadora que tiene la capacidad de ser manejada manualmente, esto ofrece la posibilidad de ser reconfigurada continuamente para producir una amplia gama de artículos.

En este orden de ideas, un FMS puede definirse como *"...un sistema de manufactura reprogramable capaz de producir una variedad de productos automáticamente."*¹⁷

P.G. Ranky dice que *"Un Sistema de Manufactura Flexible es un sistema dedicado a trabajar con datos de alto nivel y al flujo automático de materiales utilizando máquinas controladas por computadora, celdas de ensamble, robots industriales, máquinas de inspección y otros componentes, junto con sistemas integrados por computadora para el manejo de materiales y almacenamiento."*¹⁸

¹⁷Tien-Chien, Chang, et. al. ; *Computer-Aided Manufacturing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1991. pág. 537.

¹⁸Cfr. McCloy, D., Harrie, D.J., *Robótica Una Introducción*; Limusa, México, 1993. pág. 47

Los sistemas de manufactura flexible (FMS) se presentan como un subconjunto del modelo CIM en donde se integra la ingeniería y la producción.

Sistema de Manufactura Flexible.

Un sistema de manufactura o de producción flexible consiste en un grupo de celdas flexibles de fabricación, de ensamblado, de control de calidad y líneas de transferencia interconectadas por medio de un sistema de manejo de materiales y de almacenamiento.

Un sistema de manufactura o de producción flexible consiste en un grupo de celdas flexibles de fabricación, de ensamblado, de control de calidad y líneas de transferencia interconectadas por medio de un sistema de manejo de materiales y de almacenamiento.

Las celdas de manufactura flexible (FMCs) son un grupo de estaciones de trabajo que se desarrollan a lo largo de un FMS, dichas celdas pueden ser componentes alejados del sistema de manufactura flexible. Las razones por las cuales las celdas se alejan del sistema son:

- 1.-Trabajan con material peligroso
- 2.-Ruido
- 3.-Diferentes modos de operación
- 4.-Diferentes materiales requeridos

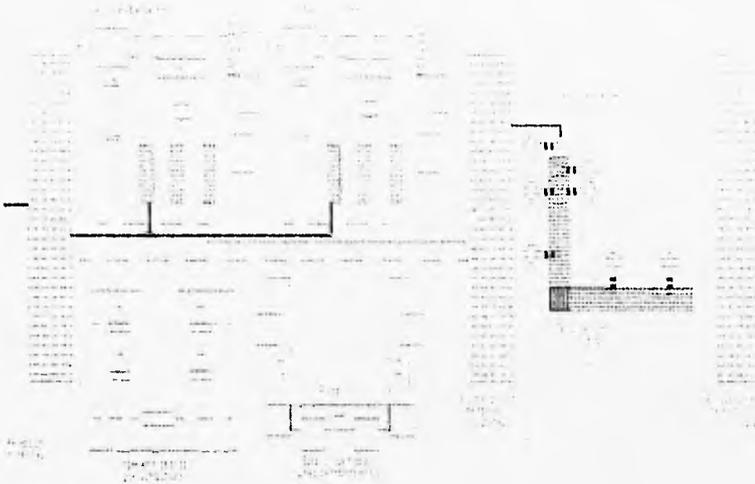
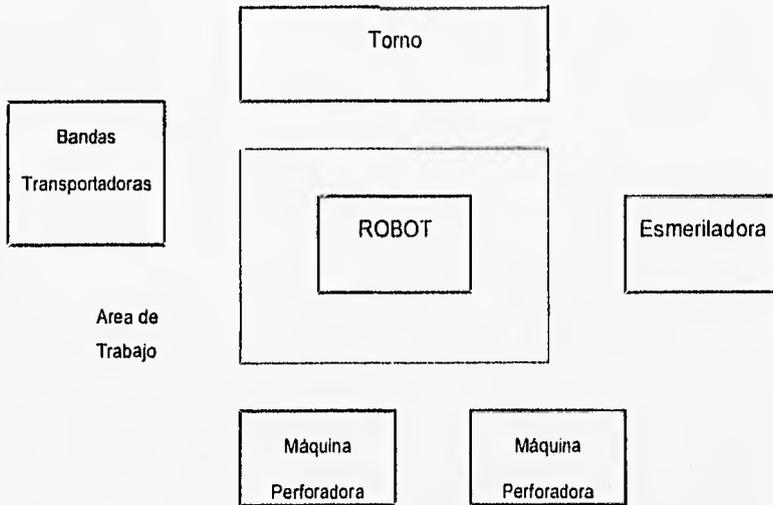


Fig. 3.4
Sistema de Manufactura Flexible.

Celda de Manufactura Flexible (FMC).

Dichas celdas pueden estar constituidas por máquinas de control numérico de alimentación (robot) que, con el auxilio de sensores permiten la carga y descarga de materiales y productos. La integración de un sistema de visión hará posible la identificación de un objeto y la determinación de su ubicación; por otra parte, mediante un sistema de transporte (bandas transportadoras, robots móviles, etc..) proveedor de materia prima trasladarán los productos terminados.

**Figura 1.5****Celda de Maquinado Atendida por un Robot.**

Cada una de estas celdas tiene su propio procesador unido a una computadora que dirige la celda. La computadora central tiene por objetivo la coordinación de todas las tareas que se hacen en el interior de cada celda, distribuyendo las órdenes a cada uno de los equipos de acuerdo a cierta planificación previa y el control de las operaciones se realicen, según el plan de producción.

La computadora central debe permitir el cambio de programación para dar acceso a diferentes tipos de producción, sin pérdida de tiempo en los cambios de herramientas y ajustes de máquinas. Las celdas de ensamblado flexibles tienen por

objetivo realizar el montaje de partes para obtener un producto final mediante varios manipuladores, sistemas de visión, almacenamientos intermedios y sistemas de transportes de materiales.

Las celdas de control de calidad permiten verificar la forma, tamaño y dimensiones de productos terminados así como otras normas de calidad estándar que deben cumplir. Están compuestas por un sistema de transporte, generalmente bandas transportadoras, manipuladores robóticos, sistemas de visión y otros sensores especializados para medir ciertos parámetros requeridos.

El desarrollo de las celdas responde a que el sistema FMS trabaja mejor y pueden ser desactivadas en cualquier momento, además de ser más baratas de desarrollar e implantar para un mayor éxito. Por ésta razón el uso de las celdas (FMCs) es en proporción más rápido que el complejo FMS.

Las ventajas que presentan las celdas de producción flexible son:

- 1.-Poco capital para iniciar
- 2.-Equipos de control menos sofisticados
- 3.-Facilidad de operación
- 4.-No requieren personal capacitado

Las líneas de producción flexible o cadenas de fabricación flexible o bien líneas flexibles de transferencia, representan una forma de producción a gran escala. Para dar

flexibilidad, los ajustes de las estaciones deben realizarse a la velocidad del cambio de las órdenes de producción. La línea debe adecuarse al flujo de material y a los tiempos destinados al trabajo sobre piezas en cada estación. La flexibilidad de la línea depende de sus componentes, la banda transportadora, el material que fluye y los componentes de las estaciones de trabajo.

Los sistemas de producción automatizados requieren el suministro de materiales, piezas y herramientas, y la existencia de todos ellos en almacén. El rol de las celdas de almacenamiento automatizado es administrar y operar el almacenaje, el traslado y el inventario de objetos, así como los medios de producción.

La administración implica la asignación de los lugares de almacenamiento, el control de las existencias, la reserva de materiales y el procesamiento de las órdenes que llegan. La operación requiere la comprobación de los objetos, las cantidades que se indican, la activación y supervisión de las órdenes de entradas y salidas de la bodega, el transporte de los objetos, y la activación de inventario.

El FMS constituye grandes ventajas para una empresa en virtud de que, en otras, se reduce considerablemente el inventario de productos en proceso, existe un mejor control de los mismos y además se requiere menos personal trabajando directamente en la manufactura; sin embargo, antes de la instalación de un sistema de esta naturaleza, la empresa deberá valorar si sus necesidades requieren del mismo.

En un sistema de manufactura flexible la labor humana es mucho menor que en un sistema de manufactura manual, sin embargo, el hombre juega un papel importante en la operación de un FMS, las labores humanas que se desarrollan son:

- 1.-Mantenimiento del equipo
- 2.-Cambio de máquinas y disposición de éstas
- 3.-Cargar y descargar el sistema
- 4.-Entrada de datos
- 5.-Cambiar programas
- 6.-Desarrollar programas

Ahora bien, una de las principales limitaciones de dicho sistema es su costo, el cual debido a su alta tecnología lo ubica, en términos monetarios, muy por encima de otros sistemas; situación que impide a pequeñas y medianas empresas el acceso al mismo.

Por otra parte un FMS no resolverá problemas de mala administración o desorganización de la planta : la información debe de ser eficiente antes de introducir las computadoras, así como el flujo de materiales, que deben estar operando de manera adecuada antes de pensar en introducir un vehículo guiado automáticamente.

1.3. EL PUNTO DE VISTA ECONOMICO.

Como toda actividad humana, los sistemas de manufactura se pueden analizar dentro de varios planos : el social, el cultural, el político y el económico.

En los últimos años, las empresas de manufactura han pasado de una producción masiva a una producción óptima o austera, creando una empresa más eficiente, más integrada y más compacta.

A causa de los nuevos conceptos de competitividad y globalización, se considera que la economía de manufactura debe seguir cambiando. Muchos empresarios han reestructurado radicalmente todos los procesos de producción, desde el diseño del producto hasta la distribución del mismo, arrastrando al cambio a sus proveedores. Actualmente las empresas requieren de ciclos de trabajo más rápidos, mayor productividad y alta calidad.

*"Los factores que contribuyen al grado de automatización en un país dependen tanto de los tipos de industria manufacturera prevaecientes en cada país como del grado de mecanización de la industria de dichos países."*⁹

⁹Gerstenfeld, A., Berger, P.; *A model for economic and social evaluation of industrial robots*, Proc. 12th Internat. Symp. Industrial Robots, EE.UU., 1982.

Las transacciones electrónicas soportadas por redes, están cambiando la economía de producción convencional que demanda una respuesta rápida a los pedidos de compra.

Las redes también permiten relaciones más ágiles, capaces de conectar o desconectar oportunamente cuando la producción necesita un cambio. Estas redes son capaces de soportar la interdependencia de compartir datos y conocimientos de los avances tecnológicos. La flexibilidad de estas redes representa una ventaja competitiva que permite experimentar nuevas formas de organización.

Para competir en el mercado mundial, las empresas de manufactura deberán considerar las técnicas sofisticadas de automatización de la producción, con objeto de obtener mayor flexibilidad en una variedad de productos y de volúmenes de producción.

Tales técnicas no producirán el efecto esperado a menos que estén apoyadas por cambios apreciables tanto en la organización como en los recursos humanos, considerando el ambiente social, político y económico donde la empresa se ubique. Es un error atribuirle mayor importancia a la gestión administrativa cuando se cuenta con la tecnología adecuada.

La moderna industria de los robots tiene sus raíces en la alta tecnología, no obstante, muchos consideran que la potencial reducción de los costos de mano de obra es la ventaja más atractiva que la industria de la automatización les puede ofrecer.

"Si el objetivo principal es la reducción de los costos de mano de obra, entonces será necesario contar con métodos que permitan determinar si la inversión en una instalación (el costo de capital del equipo) justifica el rendimiento (los ahorros derivados de la reducción de los costos de la mano de obra)."¹⁰

La manufactura se considera como la piedra angular de todas las actividades económicas. Su evolución con los sistemas flexibles de manufactura y la manufactura integrada por computadora, están produciendo una economía basada en la sistematización científica y la disseminación de la información.

Cualquier instalación de robots o sistemas automatizados debe justificarse en términos financieros, considerando que, el periodo de recuperación de la inversión es un indicador de proyectos que pueden generar importantes ahorros y consecuentemente mayores utilidades.

¹⁰ McCloy, D., Harris, D.J., *Robótica Una Introducción*; Limusa, México, 1993. pág. 342

1.4. EL PUNTO DE VISTA SOCIAL.

Con el creciente aumento poblacional, las empresas dedicadas a satisfacer sus demandas, han tenido que incrementar su capacidad de producción; situación que contribuye necesariamente, a un acelerado desarrollo tecnológico que ha desplazado la fuerza humana sustituyéndola por mecanismos más poderosos y sofisticados, que en la actualidad cumplen con procesos completamente automáticos. Así la computadora viene a formar parte del proceso productivo, originando que los profesionales involucrados requieran de su uso para hacerse más competitivos y no permanecer al margen.

La automatización ofrece una alternativa de crecimiento y mejoramiento en la producción, pero a su vez, plantea grandes retos desde el punto de vista de las relaciones humanas y condiciones sociales, debido a que no son muchas opciones de trabajo, ya que lo que se pretende es el desplazamiento de la mano de obra, para convertirse así en fábricas conocidas con el nombre de "unmaned" ó "sin hombres".

El número creciente de instalaciones de robots tiene un impacto en nuestra sociedad en general y en la mano de obra en particular. El impacto obvio es el desplazamiento de los trabajadores, la estadísticas señalan que se pierden de dos a cinco empleos como resultado de la instalación de un robot.

Dada la naturaleza de los trabajos que realizan los robots, son los trabajadores no especializados y semiespecializados los más afectados. Es muy probable que gran

parte de los nuevos puestos creados por la instalación de los robots se distribuya entre los empleados existentes, esto significa que serán aquellos que cuentan con habilidades de tipo técnico, al ser los más adecuados para una nueva capacitación. Las nuevas habilidades requeridas se concentran en la electrónica y la programación.

El técnico en robots surge como un nuevo elemento importante en la automatización flexible. Particularmente en el caso de los trabajos de mantenimiento, el técnico requiere contar con amplios conocimientos sobre el software y los aspectos electrónicos, eléctrico y mecánico de una instalación con robots.

Un gran porcentaje de la capacitación actual en robótica forma parte de un proceso de conversión que afecta a los trabajadores, ya que los desplaza de las antiguas habilidades sustituidas por robots hacia el campo de la operación y el mantenimiento de dichos robots.

El diseño mismo de los robots es un fenómeno que cambia rápidamente, es por tanto que la capacitación continua es cada vez más importante para mantener al obrero al corriente de los avances.

"Si se considera primero la situación global, se puede argumentar que la automatización en la manufactura crea mayor riqueza al reducir los costos unitarios lo que a su vez, redundando en un menor precio; esto crea así una mayor demanda, que debe satisfacerse por medio de una mayor producción;

de este modo se reducen aún más los costos unitarios y se sigue así sucesivamente alrededor del círculo económico.¹¹

Es aquí donde radica la base para la afirmación de que la automatización crea más trabajos de los que elimina.

¹¹McCloy, D., Harris, D.J., *Robótica Una Introducción*; Limusa, México, 1993. pág 358

CAPITULO 2

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES

2.1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.

Podemos decir que la función del almacén comprende diversas fases, entre las cuales, las más importantes son las siguientes : la recepción, la inspección, el control, la clasificación, la sistematización, la conservación y la distribución de la materia prima y de los productos elaborados.

Las nuevas ideas de almacenamiento se han desarrollado considerablemente debido a los adelantos tecnológicos del diseño de las estructuras y de las máquinas cada vez más complejas, que realizan la mayor parte de las funciones dentro de un almacén.

En la planeación de un almacén se deben establecer ciertos objetivos de disposición que vayan de acuerdo con los objetivos o normas del programa de almacenamiento. Debido a esto existe una gran variedad de elementos auxiliares para el manejo y almacenamiento de los productos industriales. La función principal de estos dispositivos es la de hacer posible un mejor nivel de almacenamiento, cuidado y limpieza, sin que sea un obstáculo la forma o disposición que adopte el almacén.

Otra finalidad que se pretende con ello es lograr que dicha disposición reúna las características necesarias para el mejor aprovechamiento del espacio, eficiencia en el

manejo de materiales o artículos y proporcionar un almacenamiento más económico, con respecto a los costos del equipo y del espacio.

El almacenamiento de materiales o artículos, requiere de equipos y procedimientos adecuados para alcanzar una eficiencia en su funcionamiento para que este no afecte el desarrollo de las líneas de producción dentro de la industria, en general, los sistemas de almacenamiento utilizan los siguientes tipos de instalaciones :

- 1.- Sistemas con silos y cisternas
- 2.- Sistemas de estanterías de diversas clases
- 3.- Sistemas paletizados

Para cada una de estas categorías existen numerosas subcategorías o modificaciones en función de las situaciones o problemas concretos.

SILOS Y CISTERNAS.

Los sistemas de silos y cisternas se utilizan, sobre todo, cuando se trata de almacenar materiales en forma de grano, polvo o líquido. Las instalaciones y equipos para silos existen para los casos más generales.

ARMARIOS, ESTANTERIAS Y ARMAZONES.

El almacenamiento de piezas pequeñas en diferentes presentaciones y tamaños requiere estanterías y armazones especiales que hagan posible una utilización económica del espacio disponible. Las estanterías y armazones suelen hacerse de aluminio o acero.

En el caso de que los armarios estén fabricados de acero, éstos se componen, por lo general, de elementos estandarizados que pueden desmontarse fácilmente y combinarse de diferentes maneras para atender nuevas necesidades de almacenamiento específico de que se trate.

El empleo de estas instalaciones permite satisfacer las siguientes necesidades: un mejor aprovechamiento del espacio en relación a la altura; una sistematización eficiente de los materiales de naturaleza particularmente delicada; una conservación más segura de las mercancías frágiles; facilidad de control, tanto desde el punto de vista de la conservación como de la cantidad de los materiales almacenados; una subdivisión eficiente de los diferentes tipos de materiales almacenados; una mejor definición de las responsabilidades del personal de almacenes.

Los elementos principales a tener en cuenta en un proyecto de almacén con estanterías, son los relativos a los materiales a manejar, asimismo se deberá tomar en cuenta su volumen y peso, sus dimensiones; la frecuencia de su movimiento; la cantidad media por movimiento y la cantidad total a almacenar.

Las principales ventajas de las estanterías metálicas son las siguientes :

- Su resistencia y consiguiente duración en el tiempo;
- Posibilidad y facilidad de montaje y desmontaje;
- Facilidad para su expedición y transporte a causa del volumen limitado y la resistencia de sus elementos con el fin de ampliar sus capacidad con diferentes combinaciones;
- Resistencia a los golpes;
- Seguridad frente a diferentes riesgos, especialmente, el fuego;
- Poca ocupación de espacio;
- Facilidad de mantenimiento y limpieza.

CHAROLAS (Pallets).

El empleo de las charolas en la industria ha experimentado un creciente desarrollo debido a sus grandes ventajas desde el punto de vista del volumen de almacenamiento del cual es posible disponer con dichas instalaciones. Este sistema puede ser dotado con facilidad de equipos macanizados para el transporte y elevación de las mercancías, lo que facilita el aprovechamiento de la altura del espacio disponible.

"Los objetivos del manejo de las charolas son :

- 1.- *Reducir el costo de manejo de materiales*
- 2.- *Aumentar el espacio disponible para almacenamiento.*
- 3.- *Incrementar la producción.*
- 4.- *Reducir tiempos de espera de las unidades motrices.*
- 5.- *Protección del producto.¹⁶*

El tamaño de la charola debe ser de acuerdo a las dimensiones de los productos que se transporten, en lo que se refiere a la forma y al modelo depende del uso particular a que se destine y el tipo de trabajo que ha de realizar.

Para distinguir estas variaciones se deben idear métodos de identificación de las cajas y/o de las charolas y la forma en que se cargarán o descargarán. Los códigos de barras y otros esquemas ópticos se utilizan algunas veces para resolver el problema de identificación. Las diferencias en la carga o descarga de las charolas se deben efectuar mediante subprogramas que se pueden llamar por el controlador de la celda de trabajo.

¹⁶Immer, John R., *Manejo de Materiales*; EHE, México, 1983. pág. 211.

2.2. TRANSFERENCIA DE MATERIAL Y CARGA/DESCARGA DE MAQUINAS.

Una gran parte de la industria de la manufactura implica el manejo de materiales, partes y herramientas. Esto se hace en las líneas de transferencia y otras por manipuladores de propósito especial, mecanismos de transferencia, transportadores y posicionadores, cada uno adaptado a un fin particular.

En años recientes el uso creciente de robots se ha aplicado a la carga y descarga de las piezas de trabajo y para manipular herramientas dentro de la automatización de las industrias, todo esto con el objetivo de hacer más rápido el proceso de manufactura para la optimización de los recursos y del tiempo.

El robot es una nueva e importante herramienta destinada al aumento de la productividad, mediante el control electrónico de sistemas automáticos. Posee características que permiten mejorar o, en muchos casos, hacer posible, la automatización de determinadas tareas de producción y de montaje.

El robot está dirigido por un procesador de información que sigue las instrucciones programadas en su memoria. Los robots están impulsados por medios neumáticos, hidráulicos, eléctricos o mecánicos, con frecuencia por una combinación de estos en una unidad. Algunos están montados en ruedas pudiéndose determinar su trayectoria mediante la instalación de un alambre conductor en el piso.

En la industria de la manufactura y manejo de materiales por medio de un proceso de automatización es importante conocer las características y capacidades de los robots para realizar diferentes tipos de operaciones. Los robots se clasifican de acuerdo a sus características de la siguiente manera:

- 1.- Tomar y colocar.
- 2.- Transferir de punto a punto.
- 3.- Trayectoria continua.

Robot de tomar y colocar.

Los robots conocidos como de "tomar y colocar" son los más simples y son capaces de tomar pequeñas cargas y moverlas con rapidez de un punto a otro. Sus movimientos están limitados en número y sus sistemas de control son rudimentarios, en ocasiones constan solo de una serie de interruptores o válvulas. La longitud de movimiento puede determinarse por topes fijos.

Robot de transferencia de punto a punto.

Un robot de "transferencia de punto a punto" tiene la capacidad de moverse hacia y desde un número indeterminado de puntos y no necesariamente en la misma secuencia. Esta versatilidad y la rapidez de

reprogramación se lleva a cabo por medio de un servo de posición en cada articulación. Esta característica ayuda a la localización precisa de los puntos, hacia los cuales se dirige.

La reprogramación se hace por el operador que guía el robot (desde una consola) inicialmente a través de su rutina. Oprime un botón para imprimir en la memoria las localizaciones de los puntos de extremo de cada movimiento. Algunos robots se programan fuera de la línea por la entrada de instrucciones codificadas en forma similar a las máquinas de control numérico (CNC).

Robot de trayectoria continua.

Un robot de "trayectoria continua" es similar a un robot de "punto por punto" en su apariencia, sin embargo, su capacidad de almacenamiento es mucho más amplia y posee un procesador capaz de coordinar los movimientos de las articulaciones e interpolar una trayectoria dada entre los puntos extremos. Cuando se programa, el robot se guía no sólo de punto a punto sino también a lo largo de las trayectorias entre los puntos.

La mayoría de los robots pasan a través de una rutina programada tomando en cuenta el hecho de que el medio ambiente o las condiciones de operación permanecen constantes.

La diversidad de materiales o partes así como las diferentes formas en que dichas partes se descargan, se cargan, se acomodan, se empacan o almacenan, son factores que influyen en el diseño y mecanismo del robot. Con frecuencia éstos necesitan tenazas ó pinzas como elemento terminal para los diferentes tipos de aplicaciones.

El intento del ser humano por disminuir el esfuerzo en los procesos de producción, lo ha llevado a desarrollar nuevas técnicas y maquinarias que permitan hacer más fácil y rápido el trabajo. Al ingresar la automatización en los procesos de manufactura, éstos se han vuelto más rápidos y precisos, de manera que el uso de robots para el manejo, transferencia y almacenamiento de materia prima y artículos es uno de los aspectos que logran que dichos procesos se realicen de una manera eficiente.

Las aplicaciones de un robot son diversas, ya que lo mismo se requiere para mover una pieza de trabajo u otro material desde una posición a otra que para cargar y/o descargar una máquina de producción de algún tipo. Las aplicaciones de manejo de material se dividen en dos categorías específicas :

- 1.- Aplicaciones de transferencia de material.

- 2.- Aplicaciones de carga/descarga de máquinas.

APLICACIONES DE TRANSFERENCIA DE MATERIAL.

La transferencia de material es una actividad importante a desarrollar dentro de un sistema de manufactura, en el cual, la automatización del proceso redonda en grandes beneficios por la reducción en los ciclos de tiempo, menos uso de mano de obra, seguridad y precisión en el abastecimiento de la materia prima a las líneas de producción.

Los elementos utilizados para el manejo y transporte de materiales son, en general, distintos por el tipo de trabajo a desarrollar y por el servicio simultáneo a varias máquinas.

Las aplicaciones de transferencia de material se definen como operaciones en las cuales el objetivo principal es mover una pieza de una posición a otra. Se considera que estas son las aplicaciones más sencillas o directas a las que se destinan los robots.

Dichas aplicaciones normalmente necesitan un robot relativamente poco sofisticado, y los requisitos de enlace con otros equipos son típicamente simples. En el caso más sencillo, la pieza se presenta al robot mediante algún dispositivo de alimentación mecánico o transportador en una posición conocida, dicha posición es estacionaria, conseguida bien parando el transportador en la posición apropiada, o utilizando una parada mecánica para mantener la pieza en la posición estacionaria. Un señalamiento de entrada (basado comúnmente en un simple conmutador) se diseña

para indicar que la pieza está en posición y preparada para ser transferida. El robot toma la pieza, la mueve y la posiciona en el lugar deseado. La orientación de la pieza permanece inalterada durante el movimiento. La posición final está determinada de tal forma que no entorpezca la próxima entrega del robot.

La aplicación de los robots a éstos sistemas logra que la transferencia de material desde los almacenes hasta las líneas de producción se realice de una manera eficiente sin problemas de tiempo en el acarreo manual de la materia prima y en errores en el abastecimiento de ésta.

Algunas aplicaciones de transferencia de material tienen estructuras que cambian de ciclo a ciclo, requiriendo así un robot más sofisticado. Las operaciones de paletización y despaletización son ejemplos de este caso.

Una de las complicaciones que se presenta en las operaciones de transferencia de material es cuando se requiere que el robot siga un elemento móvil. En el manejo de materiales en robótica el seguimiento surge cuando las piezas se llevan a lo largo de un transportador que se mueve continuamente, lo que se conoce como un transportador de gancho aéreo, y se necesita que el robot tome las piezas del transportador. El caso opuesto es cuando el robot debe poner las piezas en el transportador móvil. En ambos casos se requiere un sistema de sensor-enclavamiento más sofisticado para determinar la presencia y localización de las piezas en la ventana de seguimiento del robot.

CARGA Y DESCARGA DE MAQUINAS.

El uso eficiente de una máquina de producción requiere que ésta se cargue y se descargue en la forma más rápida posible, de manera que las operaciones de manufactura se realicen con un mínimo de tiempo muerto.

El uso de un robot para las operaciones de carga y descarga, mientras la máquina se utiliza a toda su capacidad, puede, incluso, reflejarse en una cantidad enorme de tiempo muerto para el robot. Este problema se resuelve colocando al robot en una celda de trabajo.

Estas aplicaciones son operaciones de manejo de material en las que el robot se utiliza para servir a una máquina de producción transfiriendo la pieza a/o desde la máquina. Existen tres casos dentro de esta categoría de aplicación :

Carga/descarga de máquinas

El robot carga una pieza de trabajo en bruto en el proceso y descarga una pieza acabada. Una operación de mecanizado, es un ejemplo de este caso.

Carga de máquinas

El robot debe cargar la pieza de trabajo en bruto a la máquina.

Descarga de máquinas

La máquina produce piezas terminadas a partir de materiales en bruto que se cargan directamente en la máquina sin la ayuda del robot. El robot descarga la pieza de la máquina.

Para aumentar la productividad de las celdas y la utilización del robot, éstas pueden incluir más de una máquina de producción. Esto es recomendable cuando el ciclo de máquina automático es relativamente grande, originando que el robot esté parado por periodos prolongados de tiempo.

Algunas celdas se diseñan de forma que cada máquina efectúa la misma operación; otras celdas se diseñan como un sistema automatizado flexible en el que diferentes piezas siguen una frecuencia de operación distinta en diversas máquinas de la celda. En uno o en otro caso, el robot se utiliza para efectuar las funciones de manejo de piezas para las máquinas en la celda.

Es posible que no siempre se justifique la automatización de una aplicación de carga y transferencia de materiales por sí misma, pero cuando se ha introducido un robot en alguna parte del proceso de manufactura, resulta relativamente económico extender sus actividades al manejo y acomodo de materias primas y artículos al final del proceso de manufactura.

2.3. CONSIDERACIONES GENERALES EN EL MANEJO DE MATERIALES POR ROBOTS.

El manejo de materiales es la preparación y colocación de los mismos para facilitar su movimiento o almacenamiento. Comprende todas las operaciones a que se somete el producto, excepto el trabajo de elaboración propiamente dicho; y en ocasiones se incluye como parte del proceso. El manejo de materiales debe reducirse al mínimo suprimiendo cuantas manipulaciones sea posible.

Los robots tienen un amplio rango de aplicaciones muchas de las cuales dependen de la disponibilidad de sensores adecuados de realimentación y de controladores aplicables. Las aplicaciones de los robots y el desarrollo de éstos son de vital importancia para un sistema de manufactura automatizada, ya que con ellos se logra precisión, velocidad, y grandes periodos de trabajo en las líneas de producción.

Las principales ventajas que presenta el uso de un robot en un sistema de manufactura automatizada y manejo de materiales son las siguientes:

- Pueden ser más fuertes, lo que les permite levantar pesos considerables y aplicar mayores fuerzas.
- No se cansan y pueden trabajar fácilmente las veinticuatro horas del día, siete días a la semana. No necesitan descansos para el café o la comida y rara vez se enferman.

- Son consistentes. Una vez que se han instruido para realizar un trabajo pueden repetirlo, prácticamente en forma indefinida, con un alto grado de precisión. El desempeño humano tiende a deteriorarse con el paso del tiempo.
- Son casi completamente inmunes a su ambiente. Pueden trabajar en entornos extremadamente fríos o calientes, o en áreas donde existe el peligro de gases tóxicos o radiación. Manipulan objetos con temperaturas muy elevadas. Son capaces de trabajar en la oscuridad.

El robot industrial es un instrumento con el que se puede lograr una mayor productividad, no solamente en la industria, sino también en cualquier actividad en la que se requiera del movimiento de materiales; una de sus mayores posibilidades es reducir los costos de producción.

La aplicación de los robots para el manejo de materiales ofrece gran potencial para librar a la mano de obra humana de trabajos monótonos cansados o peligrosos. Incluye la transferencia de partes entre sistemas de bandas transportadoras o líneas de proceso en los que las partes pueden ser pesadas, estar calientes, tener propiedades abrasivas o, incluso, ser radiactivas.

Al planificar una aplicación dentro de un sistema de manufactura automatizada en la que se utilizará un robot para transferir piezas, cargar una máquina u otras operaciones análogas, existen algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta

para determinar si el sistema, robot y programa de control es el adecuado para satisfacer las necesidades de producción :

- 1. Orientación y posicionamiento de la pieza.** En la mayoría de las aplicaciones de manejo de piezas, éstas se deben presentar al robot en una posición y orientación determinada. Los robots utilizados en estas aplicaciones no poseen generalmente sensores altamente sofisticados (por ejemplo, visión de máquina) que les permita buscar una pieza e identificar su orientación antes de tomarla.
- 2. Diseño de la pinza.** Se deben de diseñar efectores finales especiales para que el robot pueda tomar el material y mantener la pieza de trabajo durante la operación de manejo.
- 3. Distancias mínimas recorridas.** La aplicación de manejo de material se deberá de planificar de manera que se minimicen las distancias que recorrerán las piezas desde el almacenamiento hasta las líneas de producción. Esto se puede conseguir mediante un diseño adecuado de la estructura de la celda, del trabajo de la pinza y a través de un estudio cuidadoso del ciclo de movimiento del robot.
- 4. Volumen de trabajo del robot.** La estructura de la celda se debe diseñar con las consideraciones adecuadas dada la capacidad de carga del robot para

alcanzar las posiciones extremas requeridas para facilitar las maniobras de la pinza en el manejo de los materiales.

5. **Capacidad de peso del robot.** Existe una limitación en la operación de manejo de material, la cual es, que la capacidad de carga del robot no se debe exceder para un mejor funcionamiento de este.
6. **Precisión y repetibilidad.** Algunos materiales por su forma, peso, material, etc..., requieren para su manejo de una alta precisión
7. **Configuración, grados de libertad y control del robot.** Muchas operaciones de transferencia de piezas son sumamente simples por lo que pueden ser realizadas por un robot con dos o hasta cuatro articulaciones de movimiento. Las aplicaciones de carga de máquina a menudo necesitan mucha más libertad ó más movimientos y articulaciones. Los requisitos de control del robot son poco sofisticados para la mayoría de las operaciones de manejo de material. Las operaciones de paletización y recolección de piezas desde un transportador móvil son ejemplos donde los requisitos de control son mayores.
8. **Problemas de utilización de la máquina.** Es importante para la aplicación utilizar efectivamente todas las piezas del equipo en la celda. En una operación de carga/descarga de máquina es común que el robot permanezca parado en tanto la máquina está trabajando, y que la máquina a su vez se

encuentre inactiva mientras el robot trabaja, por lo cual se recomienda que el robot atienda a más de una máquina.

Los robots representan un impacto significativo en la industria de la manufactura, y vienen a ser usados para llevar a cabo una rutina que antes debía ser realizada sólo por el personal altamente capacitado.

Las ventajas de usar robots en la manufactura, ofrecen una reducción en los costos de mano de obra y el error de ésta, prolongados períodos de producción, uniformidad en los productos y artículos que se desarrollan, continuidad en las líneas de producción sin necesidad de recesos, incorporación de la inspección durante el proceso de manufactura, mejoramiento de las condiciones laborales, mayor flexibilidad y sobre todo la capacidad de expansión y desarrollo.

El uso de los robots industriales para dar servicio a máquinas atiende más a la necesidad de lograr una mayor productividad que a la eliminación de actividades desagradables.

Su uso es un paso importante hacia el desarrollo de la fábrica completamente automatizada. Las mayores ganancias se han logrado cuando el robot atiende a varias máquinas, agrupadas en lo que se ha denominado una "celda". Al dar servicio a la celda, el robot no sólo maneja los materiales, si no que además garantiza una utilización óptima en cada una de las máquinas de la celda.

CAPITULO 3

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

3.1 Planteamiento del Problema.

En el marco de las industrias de la elaboración, la función del manejo y almacenamiento de materiales para las líneas de producción, ha sido considerada como uno de los aspectos más importantes de éstas, por lo cual se requiere desarrollar y aplicar un sistema perfeccionado que permita que las líneas de producción trabajen de una manera correcta y que todo el proceso de manufactura sea eficiente.

El pensar en la factibilidad de desarrollar un sistema de almacenamiento para una celda de manufactura flexible comprende múltiples factores y condiciones, las cuales dependen esencialmente de la función específica que desempeñe y de los artículos que se manufacturen en dicha celda, todo esto adaptado al concepto de flexibilidad que ofrece un sistema de este tipo.

El almacenamiento es tan sólo una de varias maneras de llevar artículos, productos terminados o materias primas desde las instalaciones de almacén hasta las líneas de producción y después hasta los clientes.

En un Sistema de Manufactura Flexible (FMS) es de vital importancia que el movimiento de artículos desde la fuente de materias primas hasta las líneas de producción sea mínimo y rápido, a fin de evitar obstaculizar el proceso productivo en

las celdas de este sistema de manufactura; además, se tiene un control más claro de la materia prima en existencia.

Considerando lo expuesto el objetivo principal de este trabajo es el de diseñar y construir una celda automatizada de alimentación y almacenamiento de material para un sistema de manufactura flexible-FMS para el Laboratorio de Manufactura Avanzada de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

Los objetivos de esta celda son los de proveer de materia prima a las diferentes estaciones de trabajo que conforman al FMS, además de almacenar los productos elaborados en forma automatizada.

El Laboratorio cuenta con 4 diferentes celdas, las cuales son:

- 1.- Estación central.
- 2.- Celda de procesamiento de material.
- 3.- Celda de control de calidad
- 4.- Celda de alimentación y almacenamiento de material.

Las charolas que contienen el material serán transportadas a las últimas 3 estaciones de trabajo por medio de un AGV, para tal efecto, éstas estaciones contarán

con una sección de carga y descarga de material para el vehículo guiado automáticamente.



Fig. 3.1

Distribución del Sistema de Manufactura Flexible

En este orden de ideas, se deberán tomar en cuenta todas las opciones y alternativas de solución al sistema y a su fabricación, para que este pueda funcionar de una manera eficaz y adecuada dentro del sistema de producción.

3.2 Alternativas de Solución.

La posibilidad de desarrollar un sistema de alimentación y almacenamiento de material a través de la manufactura flexible, una vez conocidos todos los aspectos de un sistema de producción automatizado, permite determinar que la mejor opción de almacenamiento y alimentación sea un almacén automatizado cerca de los procesos de manufactura, lo que permite la alimentación rápida y eficaz de materia prima a las líneas de producción.

Los sistemas de producción automatizados (FMS) requieren el suministro de materiales, piezas y herramientas, y el almacenamiento de todos ellos. La función de un almacén automatizado es la de administrar y operar el traslado y el inventario de objetos y medios de producción.

Una vez determinado el problema de almacenamiento y alimentación de materiales para el FMS (Flexible Manufacturing System), se deben tomar en consideración alternativas de solución que resuelvan el problema de manera eficaz.

La siguiente recopilación ha de proporcionar una idea general de los medios más comunes de trabajo y de mando, y de sus criterios de elección. Sin embargo, no se trata ni puede tratarse aquí de una enumeración completa de todos los factores, sino solo de una exposición de los puntos más importantes.

Sistemas de Impulsión.

Los sistemas de impulsión se pueden clasificar en:

- Hidráulica.
- Eléctrica.
- Neumática.

Impulsión hidráulica.

La impulsión hidráulica comúnmente se asocia con los robots más grandes. Una de las ventajas del impulso hidráulico es la capacidad para generar fuerzas de gran magnitud, lo cual es posible dadas las elevadas presiones de trabajo de los actuales sistemas hidráulicos.

La elevada relación fuerza-peso es otra importante ventaja del accionamiento hidráulico que resulta particularmente atractiva en situaciones donde el peso es una característica fundamental de la actividad. Los robots hidráulicos son más pequeños que los robots eléctricos con la capacidad necesaria para generar la misma potencia.

Los inconvenientes del sistema de impulsión hidráulica radican en que suelen añadir más necesidades de espacio y que un sistema de este tipo es propenso a las fugas de aceite. Los sistemas hidráulicos pueden diseñarse para actuar tanto sobre articulaciones rotacionales como en lineales.

Las ventajas de gran potencia, elevada relación peso-potencia, gran rigidez y facilidad de control son opacadas hasta cierto punto por varios problemas prácticos, siendo los más importantes:

- Los sistemas hidráulicos son costosos: la precisión en manufactura debe ser alta para mantener distancias de separación muy pequeñas entre las partes fijas y las partes móviles.
- Dado que existe la posibilidad de fugas, puede resultar poco conveniente sistemas hidráulicos donde la higiene es importante.
- Es necesario contar con un espacio para la tubería requerida por el sistema.

Impulsión eléctrica.

La mayoría de las personas están más familiarizadas con la potencia eléctrica que con la hidráulica, dado que la primera es la más común en los hogares y en la mayoría de los aspectos cotidianos.

La impulsión eléctrica a diferencia de la hidráulica, no suministra al robot tanta velocidad, pero en cambio le brinda exactitud y repetibilidad. En consecuencia los robot eléctricos tienden a ser más pequeños, con menos exigencias de espacio y sus aplicaciones tienden hacia un trabajo más preciso, tal como el montaje de piezas. Los motores eléctricos pueden emplearse también para accionar articulaciones lineales por medio de sistemas de poleas u otros mecanismos.

Cabe señalar que existe una tendencia en el diseño de los robots industriales hacia las impulsiones eléctricas, debido a los inconvenientes de costo y mecánicos que presenta la impulsión hidráulica.

Las ventajas que presenta un sistema de impulsión eléctrica son:

- Es fácil de manipular, proporcionan rápido control de la posición y de la velocidad con un elevado nivel de precisión.
- Se obtienen fácilmente y son poco costosos.
- No hacen ruido y son limpios

Un factor que se debe considerar en ambos sistemas, es el factor económico, que influye de manera importante en la decisión adecuada del tipo de impulsión que se debe aplicar en cada robot dependiendo de sus características, de tal forma que la impulsión hidráulica se utilizará en robots de mayores dimensiones y la impulsión eléctrica en los robots de menor tamaño, ya que el costo del motor se determina por su tamaño.

Impulsión neumática.

Los primeros sistemas neumáticos utilizaban aire como elemento de trabajo, pero en la actualidad en algunas aplicaciones se emplean gases inertes y gases

calientes. Las presiones de trabajo están por lo general limitadas, aunque algunos sistemas pueden trabajar a presiones elevadas.

El uso de aire comprimido como fuente de energía ha aumentado rápidamente durante los últimos años y en la actualidad se acepta en todas las ramas de la industria. Este sistema ofrece la ventaja de que los componentes neumáticos son poco costos y cualquiera puede tener un suministro de aire comprimido.

La impulsión neumática suele reservarse para los robots más pequeños que tienen menos grados de libertad (movimientos de dos a cuatro articulaciones). Estos robots suelen estar limitados a simples operaciones de "tomar y poner" con periodos de trabajo rápidos.

La potencia neumática puede adaptarse fácilmente a la actuación de dispositivos de pistón para proporcionar un movimiento de traslación de articulaciones deslizantes. También puede emplearse para accionar los actuadores giratorios para articulaciones rotacionales. Las principales ventajas que ofrece este sistema de impulsión son las siguientes:

- La mayoría de las plantas cuentan con suministro de aire comprimido.
- Los componentes neumáticos son poco costosos.
- Son confiables y su mantenimiento es sencillo y económico. El servicio al equipo es fácil de aplicar.
- Los sistemas neumáticos no se queman cuando se atorán, es decir, no presentan riesgos de incendio.

calientes. Las presiones de trabajo están por lo general limitadas, aunque algunos sistemas pueden trabajar a presiones elevadas.

El uso de aire comprimido como fuente de energía ha aumentado rápidamente durante los últimos años y en la actualidad se acepta en todas las ramas de la industria. Este sistema ofrece la ventaja de que los componentes neumáticos son poco costosos y cualquiera puede tener un suministro de aire comprimido.

La impulsión neumática suele reservarse para los robots más pequeños que tienen menos grados de libertad (movimientos de dos a cuatro articulaciones). Estos robots suelen estar limitados a simples operaciones de "tomar y poner" con periodos de trabajo rápidos.

La potencia neumática puede adaptarse fácilmente a la actuación de dispositivos de pistón para proporcionar un movimiento de traslación de articulaciones deslizantes. También puede emplearse para accionar los actuadores giratorios para articulaciones rotacionales. Las principales ventajas que ofrece este sistema de impulsión son las siguientes:

- La mayoría de las plantas cuentan con suministro de aire comprimido.
- Los componentes neumáticos son poco costosos.
- Son confiables y su mantenimiento es sencillo y económico. El servicio al equipo es fácil de aplicar.
- Los sistemas neumáticos no se queman cuando se atorán, es decir, no presentan riesgos de incendio.

3.3 Criterios de Solución.

La elección de la solución fue tomada valorando las características, ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, además de consideraciones propias del almacén, tales como:

- Es de tipo didáctico.
- El volumen de trabajo.
- El lugar y dimensiones del área de trabajo.
- El peso máximo de carga.

Además, los diferentes puntos del problema deben ser claramente definidos, por lo que algunos criterios para la elección del sistema son los siguientes:

- Simplicidad de manejo.
- Seguridad.
- Tamaño.
- Versatilidad.
- Resistencia.
- Tipo de movimiento.
- Confiable.
- Económico.

Las propiedades de los sistemas hidráulicos, eléctricos y neumáticos descritas en el capítulo 3.2, permiten llegar a ciertas conclusiones relacionadas al uso potencial de cada uno de estos sistemas de impulsión para el robot.

Por otro lado, ya que el laboratorio donde se implementará la celda de almacenamiento cuenta con una instalación de aire comprimido, se decidió utilizar elementos neumáticos como parte del sistema de impulsión del brazo mecánico, que generalmente son más económicos, más rápidos y fáciles de manejar que los motores eléctricos y los sistemas hidráulicos.

Una desventaja en el empleo de pistones es que solo presentan dos posiciones: 1) Adentro; 2) Afuera; por lo que resultaría impráctico en un almacén el utilizar únicamente elementos neumáticos, ya que esto limitaría el número de compartimientos. El uso de servomotores proporcionará al sistema un mayor número de posiciones además de la repetición de las mismas con un alto grado de precisión.

Para que los pistones y los servomotores operen de manera coordinada se empleará un Controlador o PLC (Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés).

El estándar NEMA ICS3-1978 proporciona la siguiente definición de PLC:

¹ "Dispositivo electrónico operado digitalmente que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones a fin de

¹Vázquez Coronel, Modesto; PLC's para Procesos Discretos. Manufactura, Vol.2. No.10, 1996

implementar funciones específicas, tales como lógicas, secuencias, tiempo, conteo y aritméticas, y así controlar varios tipos de máquinas o procesos a través de módulos de Entrada/Salida analógicos o digitales."

Una vez consideradas las funciones de carga, trabajo y movimientos del robot, y sobre todo por los elementos a emplear en el diseño y construcción de dicha celda, el brazo mecánico que tomará y depositará el material será un dispositivo electroneumático.

3.4 Diseño del Sistema.

Partiendo del área de trabajo y de las características de los elementos comerciales, el diseño del sistema estuvo condicionado por los mismos, debido a esto, se optó por construir un almacén en forma de estantería, en el cual se almacenarían las charolas con el material.

Se buscó un medio rápido y preciso para desplazar al brazo mecánico a lo largo del almacén; basados en la experiencia con otros equipos, se decidió utilizar una base deslizante o "slide base". El número de compartimientos se limitó en primer lugar por el tamaño de las charolas, y en segundo lugar, por la longitud de la base deslizante.

La función del sistema consiste en suministrar la materia prima que se encuentra en charolas ubicadas en el almacén, la charola será tomada por el robot para depositarla en el transportador AGV que la llevará hacia la celda de procesamiento de material; así también, cuando el material ya manufacturado regrese, el robot lo tomará para almacenarlo. Cabe mencionar que el controlador debe estar previamente programado con la ubicación de las charolas que contienen la materia prima y los lugares disponibles para almacenar las piezas terminadas.

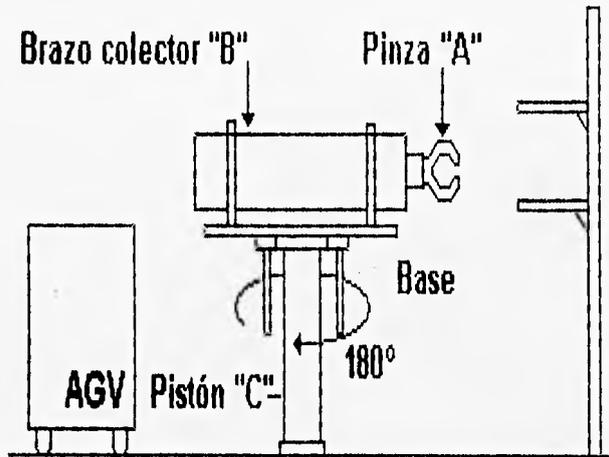


Fig. 3.2
Croquis de la Situación

El brazo mecánico de la celda cuenta con cinco grados de libertad, enumerados a continuación:

1. Apertura y cierre de la pinza (pistón A).
2. Distancia mínima y máxima para el pistón B.
3. Altura mínima y máxima para el pistón C.

4. Giro de la base, aprox. 330°
5. Desplazamiento a lo largo de todo el almacén.

Estos son los únicos movimientos que podrá realizar el brazo mecánico, de este modo, el almacén tiene ciertas limitantes:

- a) Sólo puede tener 2 repisas.
- b) El número máximo de compartimientos está dado por el tamaño de las charolas y de la base deslizante (slide base).
- c) La altura del AGV, está condicionada a la altura mínima del pistón C.

Por otro lado, el proceso de alimentación y almacenamiento presenta cuatro situaciones diferentes en el manejo de las charolas:

1. Toma la charola de la repisa de abajo.
2. Toma la charola de la repisa de arriba.
3. Colocación de la charola en la repisa de abajo.
4. Colocación de la charola en la repisa de arriba.

La descripción de las cuatro situaciones en el manejo de charolas, por orden cronológico se muestran en las tablas 3.1 y 3.2.

<p>1.- Toma de charola repisa de abajo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El brazo se coloca enfrente de la charola. • Se abre la pinza A+. • Se activa el pistón del brazo colector (avanza) B+. • Se cierra la pinza A-. • Se desactiva el pistón del brazo (regresa) B-. 	<p>2.- Toma de charola repisa de arriba.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se abre la pinza A+ • Se activa el pistón para dar la altura (avanza) C+ • Se coloca el brazo frente a la charola elegida. • Se activa el pistón del brazo colector B+. • Se cierra la pinza A-. • Se desactiva el pistón del brazo colector B-. • Se desactiva el pistón de la altura C-.
<ul style="list-style-type: none"> • Gira la base del brazo 180° (sentido horario). • El brazo se manda a la estación de carga y descarga del AGV. <ul style="list-style-type: none"> • Se activa el pistón del brazo (avanza) B+. • Se abre la pinza (A-). • Se desactiva el pistón del brazo (regresa) B-. • El brazo gira 180° en la base (sentido antihorario). • El brazo espera una nueva orden de ir por una charola o de colocar otra en el almacén. 	

Tabla 3.1

Descripción de Toma de Charola por Orden Cronológico.

3.- Colocación de la charola repisa de abajo	4.- Colocación de la charola repisa de arriba.
<ul style="list-style-type: none"> • El brazo es llevado a la estación de carga y descarga del AGV. <ul style="list-style-type: none"> • Se abre la pinza A+ • Se activa el pistón del brazo colector B+ • Se cierra la pinza A- • Se desactiva el pistón del brazo colector B- • Gira la base 180° (sentido antihorario) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Se coloca al brazo enfrente del compartimiento vacío para colocar la charola. • Se activa el pistón del brazo colector B+. • Se abre la pinza A+ • Se desactiva el pistón del brazo colector B- • La base gira 180° (sentido horario) • Espera la siguiente instrucción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa el pistón para dar la altura C+ • Se coloca al brazo enfrente del compartimiento vacío para colocar la charola. • Se activa el pistón del brazo colector B+. • Se abre la pinza A+ • Se desactiva el pistón del brazo colector B- • Se desactiva el pistón de la altura C- • La base gira 180° (sentido horario) • Espera la siguiente instrucción.

Tabla 3.2

Descripción de Colocación de la Charola por Orden Cronológico.

Los movimientos que se realizan en cada una de las cuatro situaciones mencionadas se representan en diagramas espacio-fase, en donde se ilustra la activación de los elementos neumáticos por fases en orden cronológico; en donde: 0) Pistón desactivado con el émbolo adentro; 1) Pistón activado con el émbolo afuera.

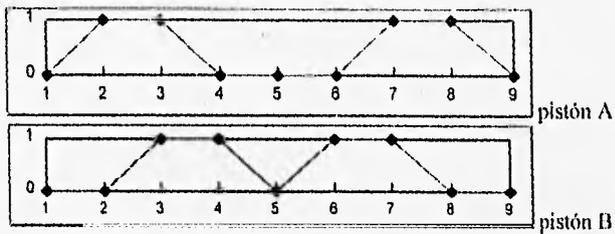


Diagrama 3.1

Toma de la Charola de la Repisa de Abajo.

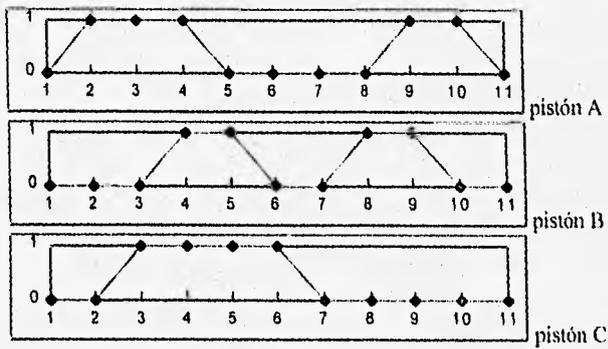


Diagrama 3.2

Toma de la Charola de la Repisa de Arriba.

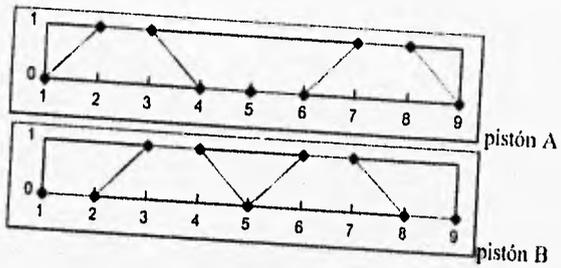


Diagrama 3.3

Colocación de la Charola en la Repisa de Abajo.

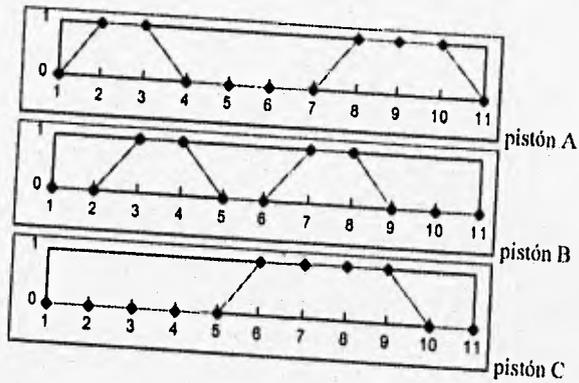


Diagrama 3.4

Colocación de la Charola en la Repisa de Arriba.

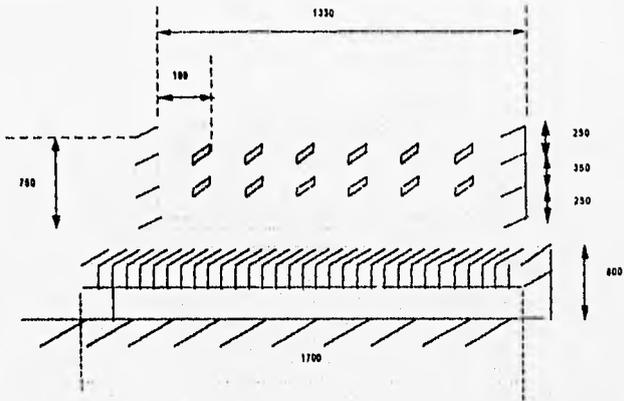
CAPITULO 4 CONSTRUCCION Y PRUEBAS AL ALMACEN

4.1 Generalidades del Almacén.

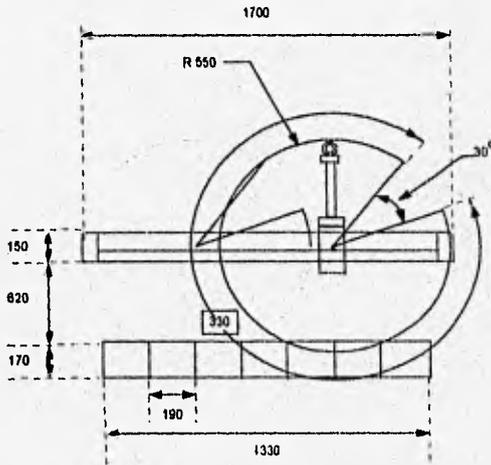
En el capítulo 3.4 se mencionan algunas restricciones propias al tamaño del almacén, tales restricciones están dadas por el tamaño de la charola y la longitud de la base deslizante. Las dimensiones de cada charola son: 17.5 cm de frente, 2.5 cm de ancho y 12.5 cm de profundidad, mientras que la longitud de la base deslizante es de 1.70 m. En la figura 4.1 se muestra una fotografía del almacén y en la fig. 4.2 sus acotaciones en mm.



Fig. 4.1
Fotografía del Almacén



a



b

Fig. 4.2

a) Vista frontal del almacén. b) Vista horizontal del almacén con el brazo.

El espacio entre la repisa inferior y la superior permite el libre acceso del pistón y la pinza que sujeta a las charolas.

El óptimo desempeño de toda la celda de almacenamiento depende del buen funcionamiento de todas sus partes. El sistema de operación de esta celda se compone de 4 subsistemas que son los siguientes:

- Sistema de Control.
- Sistema Neumático.
- Sistema Eléctrico.

4.2 Sistema de Control

Como ya se mencionó, la función del robot es la de tomar el material y depositarlo en el transportador AGV y esto no puede lograrse sin un medio para controlar los movimientos del robot. Para este sistema se utiliza un controlador, el cual regula y ordena todos los movimientos del robot, tanto verticales como horizontales y de giros.

En este caso en particular se empleó un controlador comercial Eshed Robotech de tipo ER-V que se compone de: módulos de entrada/salida (I/O), unidad de memoria principal y una unidad de procesamiento central.

A continuación se describen brevemente las peculiaridades de cada componente.

Módulos de entrada/salida (I/O).

El controlador cuenta con un módulo de 16 entradas y un módulo de 16 salidas con dos estados lógicos (Encendido/Apagado). Estos módulos procesan las señales que entran y salen del controlador, y constituyen una barrera de aislamiento entre los dispositivos externos y la unidad. Cabe mencionar que de las 16 salidas, las primeras 4 son relevadores con contactores normalmente cerrados (N/C) y normalmente abiertos (N/A).

Unidad de memoria principal.

El controlador cuenta con una memoria donde se almacena la información que necesita para efectuar las funciones de control. Los dispositivos utilizados para construir la memoria se conocen como ROM y RAM. En el primero, la información solo se puede grabar una vez, de tal manera que aunque se suspenda el suministro de energía, la información no se borra. En el segundo caso, la memoria puede escribirse y borrarse cuantas veces sea necesario. Entonces, la memoria ROM se utiliza para guardar la información del sistema operativo, en tanto que la RAM se emplea para grabar los programas de aplicación que se diseñan, a fin de que el controlador lleve a cabo la función que se le especifique.

Desde otro punto de vista, la memoria puede separarse en cuatro arreglos: de ejecución, de trabajo, de control de programas y de tablas de datos. La memoria de ejecución contiene los programas del sistema operativo de la unidad. La de trabajo es un área de almacenamiento temporal donde se efectúan cálculos intermedios con una cantidad limitada de datos. En el tercer tipo de memoria se almacenan todos los programas elaborados por el usuario para llevar las rutinas de control que se necesiten. Finalmente, la memoria de tablas de datos almacena los valores de las constantes que se necesitan para efectuar las acciones de control.

Por todo lo anteriormente expuesto, la memoria es un factor muy importante, ya que entre más memoria tenga el dispositivo, mayor será el número de programas de aplicación y los datos de operación correspondientes que se puedan almacenar. La

memoria que se encuentra en este dispositivo es del orden de 32 Kb de EPROM y 64 Kb de RAM.

Procesador.

El procesador central o CPU maneja los cálculos y operaciones lógicas para controlar el robot. El procesador con el que cuenta el dispositivo es del tipo de 68020 de Motorola.

Lenguaje de programación.

El proveedor ofrece un lenguaje de programación estructurado para la configuración del equipo, llamado ACL (Advanced Controller Language), el cual utiliza instrucciones tomadas del inglés (como el lenguaje BASIC), y ayuda a resolver expresiones complejas de difícil implementación con otros tipos de lenguaje, por esta razón, es necesaria la conexión de una PC al controlador por medio de una interfaz RS232, que permite la transferencia de información (programas, parámetros, posiciones, etc.).

Para escribir un programa en texto estructurado se utilizan comandos del tipo IF-ELSIF-ELSE, CASE, FOR, WHILE, REPEAT, etcétera. A su vez, éstos se complementan con operadores del tipo + (suma), - (resta), * (multiplicación), SQR (raíz cuadrada), NOT (no lógico), etcétera.

4.3 Sistema Neumático

El sistema neumático de esta celda de almacenamiento y alimentación de material para un sistema de manufactura flexible está compuesto fundamentalmente de 3 partes que son: una unidad de mantenimiento, tres pistones de doble efecto (incluyendo el efector final o pinza) y tres electroválvulas 4/2 (cuatro vías/dos posiciones).

Unidad de mantenimiento.

En la práctica se presentan muy a menudo los casos en que la calidad del aire comprimido representa un papel primordial, ya que las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos.

La unidad de mantenimiento tiene la función de acondicionar el aire a presión constante, dicha unidad es antepuesta al mando neumático (válvulas), y se compone de:

- Filtro de aire comprimido
- Válvula reguladora de presión con manómetro
- Lubricador de aire comprimido

El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

La función del regulador es la de mantener la presión de trabajo lo más constante posible, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red y del consumo de aire.

El lubricador tiene la misión de lubricar, válgase la redundancia, los elementos neumáticos en medida suficiente. El lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

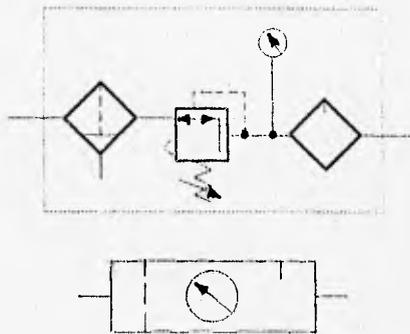


Fig. 4.3

Símbolo de la Unidad de Mantenimiento.

Pistones de doble efecto.

En los pistones o cilindros de doble efecto la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el émbolo en los dos sentidos (adentro y afuera). Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en aquellos casos, donde el émbolo ha de ejercer también en el retorno una función de trabajo.

El tubo cilíndrico se fabrica en la mayoría de los casos de tubo de acero. Para aplicaciones especiales, el tubo se construye de aluminio, latón o de tubo de acero con superficie de rodadura cromada. Estas ejecuciones especiales se emplean cuando los cilindros no se accionan con frecuencia o para protegerlos de influencias corrosivas.

El vástago se fabrica preferentemente de acero bonificado. Este acero contiene un determinado porcentaje de cromo que lo protege de la corrosión.

La representación esquemática de los pistones de doble efecto es la siguiente:

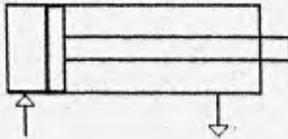


Fig. 4.4

Símbolo de un Pistón de Doble Efecto.

La elección de los pistones se realizó tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- La presión es la misma para todos los pistones (6 Bar).
- La carrera de cada pistón.
- El peso máximo de carga en cada pistón.

Tenemos que para el pistón A:

- El peso máximo de carga, tomando en cuenta la charola con el material es de 0.3 Kg = 3 N, de la tabla 1 observamos que la pinza de tipo HGR-16-A de Festo Pneumatic, tiene una carga máxima de 30 N (3 Kg), lo cual es más que suficiente para los fines propuestos.

Para el pistón B tenemos que:

El peso máximo que moverá es de 0.4 kg (4N), tomando en cuenta la charola con el material y la pinza, con una carrera de 250 mm. De la tabla 2 tenemos que el pistón de doble efecto tipo ADV-A de Festo Pneumatic tiene una presión de trabajo de 10 Bar máximo, con una fuerza de empuje de 113 N a 6 Bar y 16 mm de diámetro del émbolo, por lo que se decidió emplearlo para los propósitos del almacén.

Por último, en el pistón C:

La carrera es de 400 mm, con una carga máxima de 30 N (3 Kg), incluyendo el peso de la charola con el material, la pinza, al pistón B y las electroválvulas. De la tabla 2 tenemos que el pistón de doble efecto indicado es el de tipo ADV-A con 16 mm de diámetro en el émbolo.

Technische Daten Winkelgreifer

Denominación de tipo	HGR-16-A	HGR-25-A	HGR-32-A	HGR-40-A
Número de artículo	161833	161834	161835	161836
Función	Cilindro de doble efecto transmisión de la fuerza a través del mecanismo de palancas			
Diámetro activo del émbolo	16 mm	25 mm	32 mm	40 mm
Tiempo de apertura/Tiempo de cierre a 6 bar, sin dedos	0.01 s	0.02 s	0.03 s	0.04 s
Fuerza de sujeción a 6 bar, por pinza apertura	45 Ncm	180 Ncm	340 Ncm	760 Ncm
Fuerza de sujeción a 6 bar, por pinza cierre	40 Ncm	160 Ncm	300 Ncm	530 Ncm
Carga máxima de las pinzas en el eje, F estática	30 N	60 N	90 N	150 N
Peso	0.100 Kg	0.250 Kg	0.420 Kg	0.720 Kg
Momento de inercia de la masa con respecto al eje	0.13 Kgcm ²	0.80 Kgcm ²	1.48 Kgcm ²	3.58 Kgcm ²
Fijaciones apropiadas para las pinzas: Casquillos de centrado	ZBH-5	ZBH-7	ZBH-9	ZBH-12
Rosca de fijación abajo profundidad	M3 / 7 prof	M4 / 7 prof	M6 / 10 prof	M8 / 15 prof
Rosca de fijación lateral profundidad	M3 / 7 prof	M4 / 8 prof	M6 / 15 prof	M8 / 16 prof
Taladro de fijación	2.6	3.2	5.2	6.4
Fijaciones apropiadas para los dedos: Taladro calibrado H7	2.5	3.0	3.0	4.0
Taladro de fijación	3.2	3.2	4.3	5.3
Medida de ajuste Ancho del dedo -0.01/ -0.02	4	5	6	8
Medida de Ajuste Profundidad del dedo -0.02/ -0.05	8	10	12	15
Conexión de aire	M3	M5	1/8"	1/8"
Consumo de aire a 6 bar	0.0060 NI	0.0225 NI20	0.0465 NI	0.0642 NI
Ángulo de apertura por pinza				
Presión de repetición	±0.02 mm			
Juego Total de una pinza	< 0.1 mm / < 1°			
Presión de centrado	< 1°			
Intercambialidad	máx. 0.2 mm			
Frecuencia máxima de trabajo	4 Hz			
Presión de trabajo	de mín. 2 a máx. 8 bar			
Fluido/Calidad	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación /40µ			
Temperaturas de Fundonamiento	+5°C bis +60°			
Posición de Trabajo	Indiferente			
Principio de detección de posición	Sin contacto, magnético (SME-8... SMT-8...)			
Lubricación, mantenimiento	requiere poco mantenimiento recomendamos una nueva lubricación después de 5 millones de maniobras			
Vida útil	> 5 millones de maniobras a una presión de funcionamiento de 6 bar y observación de las máximas cargas permisibles			

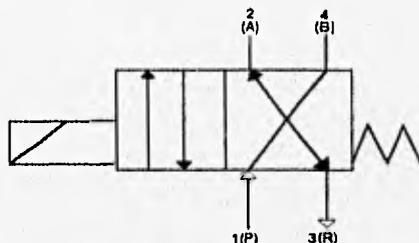
Tabla 1. Pinzas Angulares de Tipo HGR.

Cortesía de Festo Pneumatic.

Válvulas.

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica o almacenado en un depósito.

Para el mando de cilindros de doble efecto se utiliza la electroválvula 4/2 (cuatro vías, dos posiciones), que es activada por medio de una señal eléctrica de 12 V de CD. Su símbolo es el siguiente:

**Fig. 4.5****Símbolo de una Electroválvula 4/2**

Al mandar el pulso eléctrico, se activa una bobina que permite la comunicación entre los conductos 1(P) y 2(A); el conducto 4(B) está en escape hacia 3(R). Al quedar anulada la señal eléctrica, ambos émbolos de válvula regresan a su posición original.

por lo que existe comunicación entre los conductos 1(P) y 4(B); el conducto 2(A) está en escape hacia 3(R).

La conexión neumática se muestra en la figura 4.6

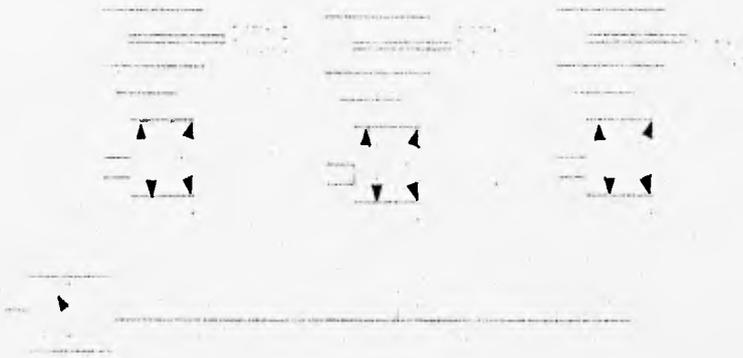


Fig. 4.6

Diagrama de Conexión Neumática

4.4 Sistema Eléctrico.

El sistema eléctrico está formado por dos servomotores, uno para desplazar al robot a lo largo de todo el almacén, y otro para hacerlo girar sobre su propio eje. Para facilitar la conexión al controlador, los motores utilizados son fabricados también por la compañía Eshed Robotech. El controlador está provisto de tarjetas especialmente diseñadas para el control de estos motores.

La característica de los servomotores es que el movimiento de su eje es en sentido horario y/o antihorario, esto permite que el robot avance o retroceda según se requiera, independientemente de que es posible controlar su velocidad.

Dichos servomotores contienen encoders o codificadores cuya función es la de transmitir pulsos eléctricos al controlador, en donde a través de circuitos electrónicos permite detectar el sentido de giro del eje, además de contabilizar y guardar en memoria el número de giros tantas veces como sea necesario.

El motor de la base deslizante (slide base), se encuentra acoplado a un tornillo "sin fin" (ver fig. 4.7), sobre este tornillo está montada la base que sirve de soporte al brazo mecánico y le permite desplazarse a lo largo de todo el almacén. Las características del motor son las siguientes:

- 1.- El voltaje de alimentación de dicho motor es de 12VCD a 2A
- 2.- Tiene una conversión de giro de 1 a 127.7

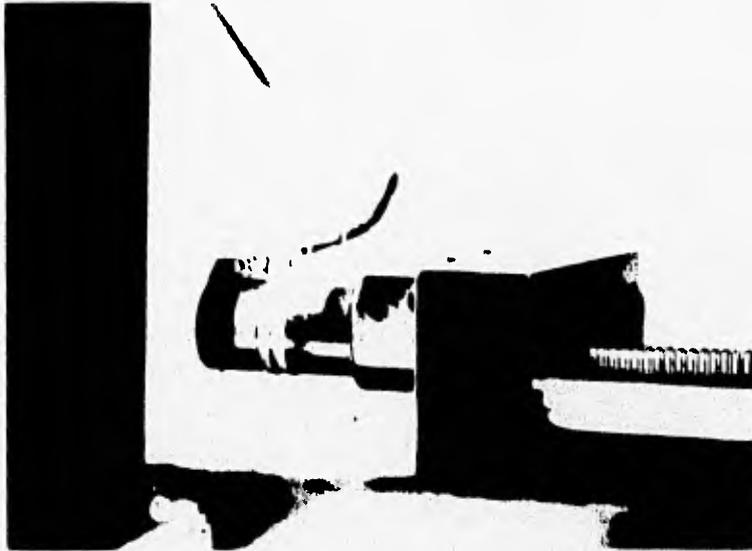


Fig. 4.7

Acoplamiento del motor al tornillo sinfin

El motor que permite al robot girar sobre su propio eje está montado en la parte inferior del soporte del brazo mecánico, este motor está provisto de una patea dentada que, por medio de una banda, mueve a otra patea la cual hace girar al sistema neumático colocado sobre rodamientos, como se puede observar en las figuras 4.8 y 4.9

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

El motor tiene las siguientes características:

1. Voltaje de alimentación de 12VCD a 2A
2. Conversión de giro de 1 a 127.7

El engrane del motor tiene un diámetro de 3 cm. y el engrane de la base 10 cm.

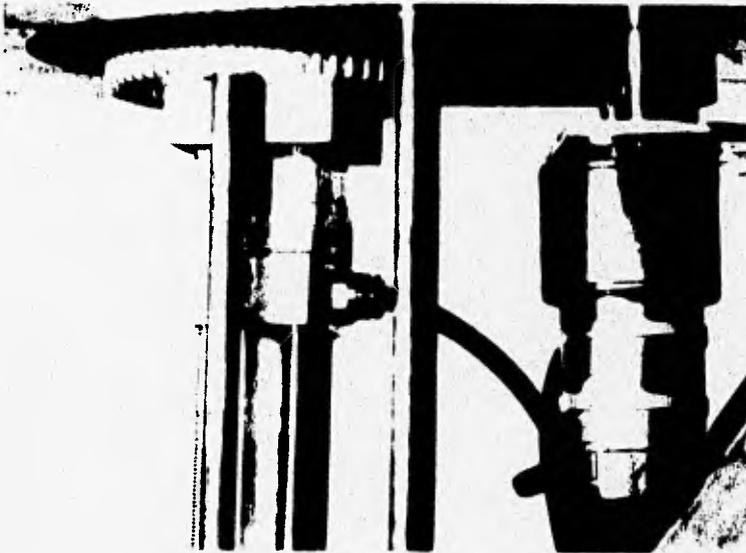


Fig. 4.8

Vista Inferior del Sistema de Poleas y Banda.



Figura 4.9
Vista Lateral del Sistema.

4.5 Pruebas.

Una vez instalado el sistema, el siguiente paso consistió en realizar una serie de pruebas para observar su funcionamiento, en el curso de las mismas se advirtieron algunas situaciones que no estaban contempladas inicialmente.

La primera anomalía que se presentó fue en la base deslizante, ya que al desplazar al brazo mecánico de una posición a otra se detenía súbitamente y en el monitor de la PC aparecía un mensaje de "impacto"; el motor del slide-base dejaba de funcionar debido a que el controlador lo desactivaba por protección ya que existía una sobrecarga en él. Se detectó que la causa de la sobrecarga era ocasionada por la fricción entre el tornillo sinfín y la base, para evitar que se presente esta situación, se recomienda lubricar al tornillo sinfín periódicamente (Al menos una vez al mes, dependiendo del uso).

Al correr los primeros programas de prueba del sistema se observó que los pistones "no se activaban", pero lo que en realidad sucedía, era que la ejecución del programa se realizaba tan rápido que no daba tiempo al desplazamiento de los pistones, por lo tanto, entre la activación de cada pistón se instalaron "delays" o retardos en el programa, con el propósito de permitir a un pistón llegar al principio o al fin de su carrera antes de activar al siguiente.

Durante la realización de estas pruebas, se vio la necesidad de comprobar que los pistones B y C se hubieran desplazado correctamente dentro del tiempo

establecido, ya que de ocurrir alguna falla por cualquier circunstancia (en el suministro de aire, en las electroválvulas, por alguna colisión, etcétera), se presentarían serios problemas de seguir con la ejecución del programa, por esta razón se instalaron dos interruptores de tipo "push button" (normalmente abiertos) a manera de sensores para detectar que los pistones lleguen a la posición indicada.

El interruptor S1 se colocó al final de la carrera del pistón B, el cual está conectado en serie desde la salida O5 encendida (12VCD) hasta la entrada I1 del controlador (ver figura 4.10). El circuito permanece abierto mientras S1 no sea accionado, por consiguiente, en I1 no existe señal, cuando el pistón llega al final de su carrera oprime a S1 cerrando el circuito; si en el tiempo preestablecido S1 no se activa, el programa se suspende automáticamente, para el retorno del pistón B, S1 deberá desactivarse abriendo nuevamente el circuito, de lo contrario el programa también se suspenderá.

El interruptor S2 está colocado al final de la carrera del pistón C de manera que su funcionamiento es similar al de S1, con la diferencia de que S2 está conectado a la salida O6 y a la entrada I2 del controlador, ver figura 4.10.

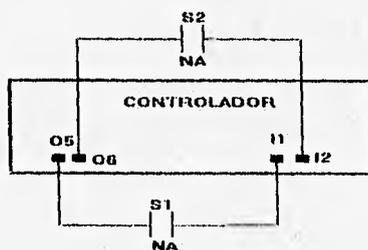


Fig. 4.10

Diagrama de conexión de los interruptores S1 y S2.

Dado que los pistones comerciales tienen una longitud de carrera ya determinada, es necesario ajustarlos cuando se requiere una distancia menor, para realizar este ajuste en el sistema, a cada pistón (B y C) se le colocó dos "topes" o anillos de metal que se sujetan a las gulas apretando un tornillo (prisionero), como se ve en la figura 4.11

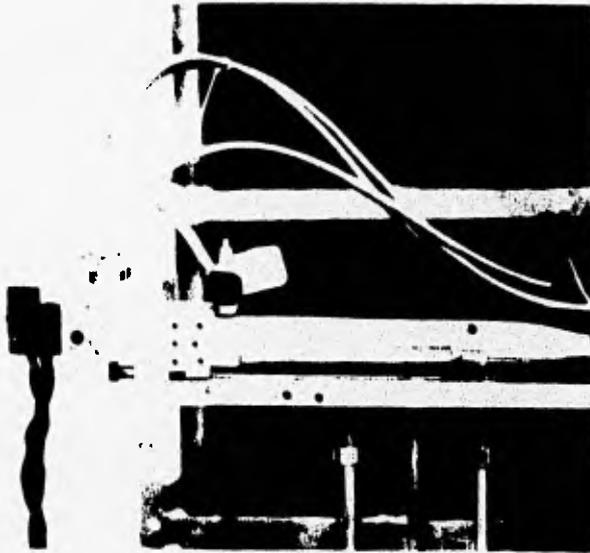


Figura 4.11
Topes de Ajuste de Carrera.

Para activar a las electroválvulas se utilizaron las salidas R1, R2 y R3 del controlador (que como se mencionó en el capítulo 4.2 son salidas con relevadores) alimentadas por la fuente de voltaje con la que cuenta el controlador, pero se observó que al encender las tres al mismo tiempo el voltaje de la fuente se caía debido a la demanda de corriente, por lo que fue necesario conectar una fuente de voltaje externa con mayor capacidad de corriente, suficiente para activar los pistones sin problemas, el diagrama eléctrico de conexión se muestra en la fig. 4.12

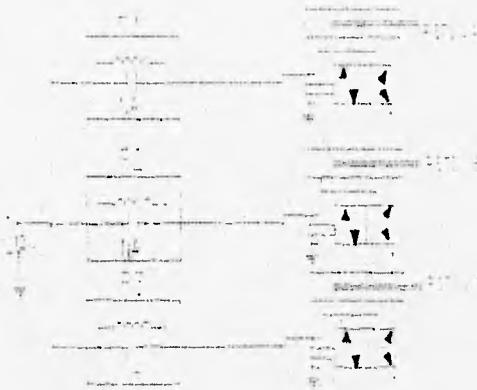


Figura 4.12
Conexión Eléctrica.

Una observación que debemos mencionar es la siguiente: siempre que el controlador es apagado, el parámetro de referencia de los motores se borra de la memoria y al encenderlo nuevamente éste asigna automáticamente como nueva referencia la posición de los motores en la que se encuentran en ese instante, esto

implicaba que fuera necesario establecer las posiciones una vez más. Utilizando el comando "HHOME" del ACL cada vez que se enciende el controlador obliga a los motores a girar en un sólo sentido hasta encontrar un "tope" a partir del cual se establece una referencia. El motor del "slide base" gira desplazando la base hasta llegar a un extremo y asigna a esta posición su punto de referencia. En el caso de la base giratoria fue necesario instalarle un tope hecho con una barra de aluminio, razón por la que el desplazamiento angular del brazo mecánico es de 330°.

En cuanto a la base giratoria es necesario mencionar que en caso de que la banda no esté lo suficientemente tensa, el motor podría girar sin que el brazo se mueva provocando errores en la rutina de trabajo.

Como prueba final y para comprobar la precisión del brazo mecánico, se le adaptó un sensor de proximidad infrarrojo en la pinza con el fin de detectar la presencia de charolas en el almacén.

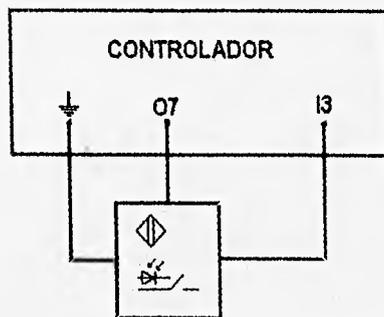


Fig. 4.13

Diagrama de Conexión del Sensor de Proximidad.

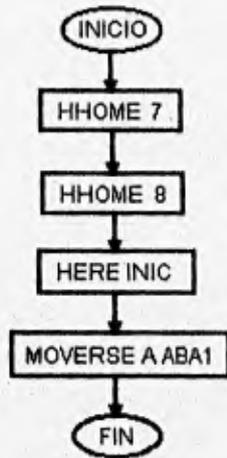
Se elaboró además un programa que registra y guarda en memoria en que compartimientos hay charolas y en cuales no. El objetivo de este programa es el de llenar los espacios vacíos de la parte inferior con las charolas que se encuentran en la parte superior.

La colocación de las charolas se realiza en forma manual y aleatoria dejando espacios vacíos tanto en la parte de arriba como en la parte de abajo antes de la ejecución del programa.

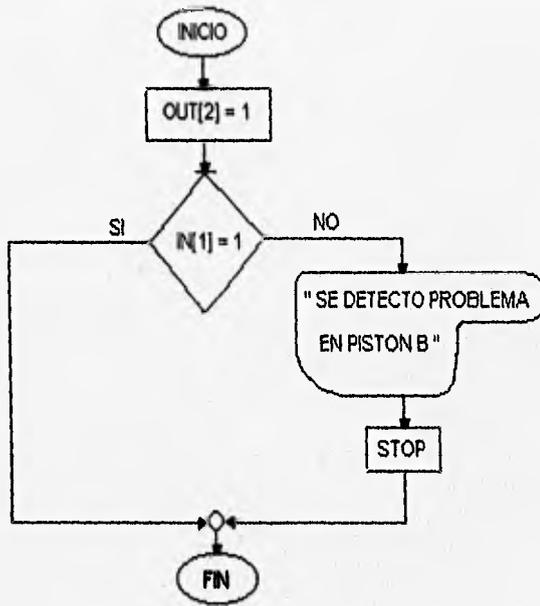
El primer paso en el programa es el asignar al brazo la posición de referencia "HHOME", en seguida el robot se desplaza a las posiciones previamente grabadas frente al almacén para sensar la presencia de charolas comenzando por la parte superior de izquierda a derecha y después la parte inferior de derecha a izquierda. Acto seguido el brazo toma las charolas para colocarlas en los espacios disponibles hasta donde la capacidad del almacén lo permita, el programa termina cuando el brazo ha colocada todas las charolas o no haya más espacios vacíos.

Los diagramas de flujo y los listados de los programas se muestran a continuación:

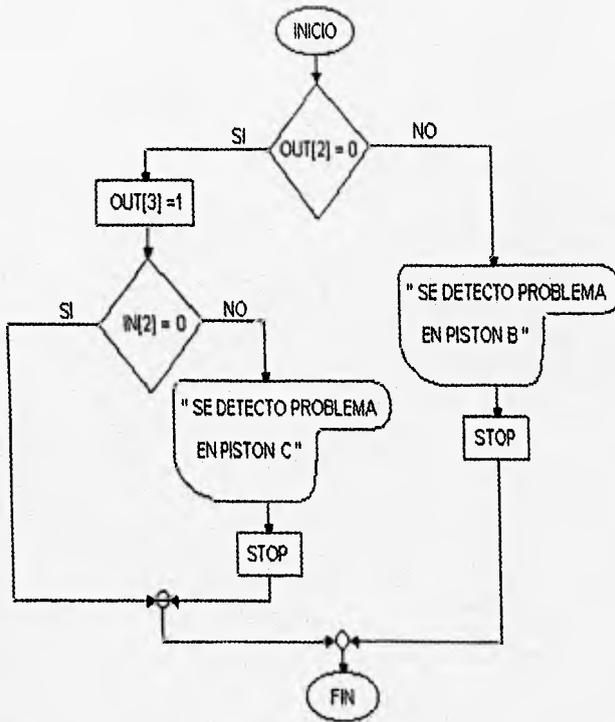
PROGRAMA AUTO



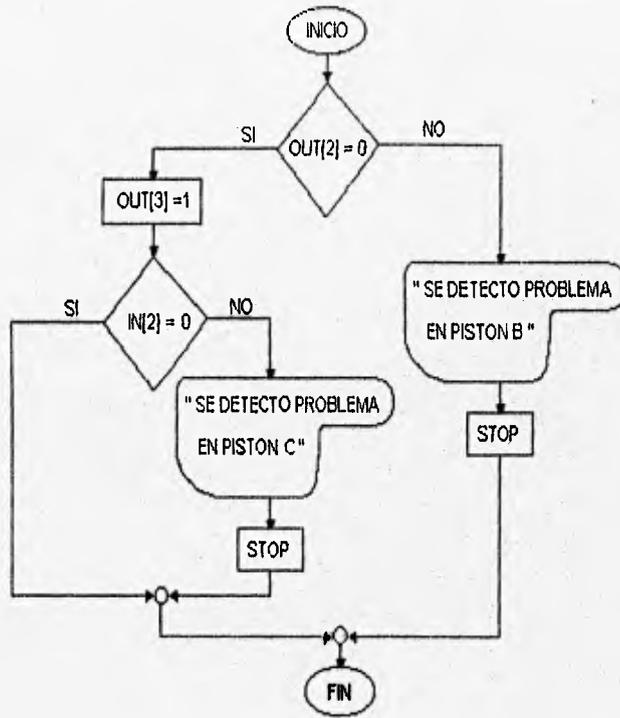
PROGRAMA EJE2



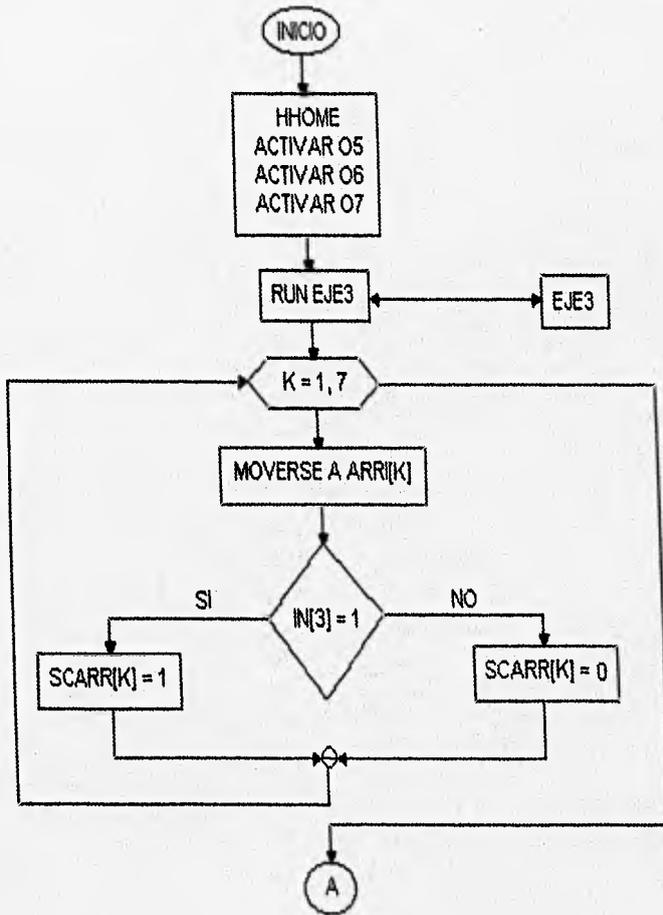
PROGRAMA EJE3

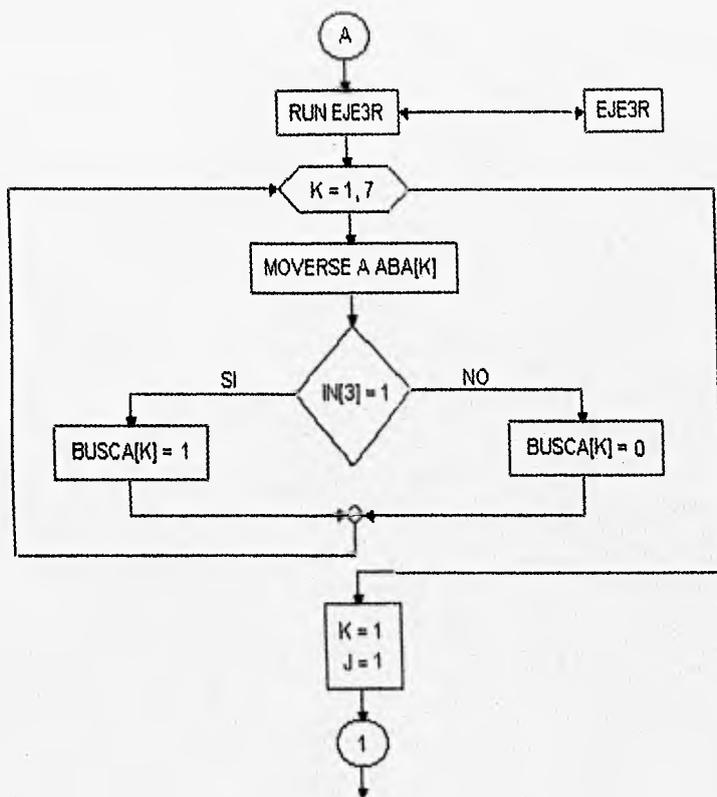


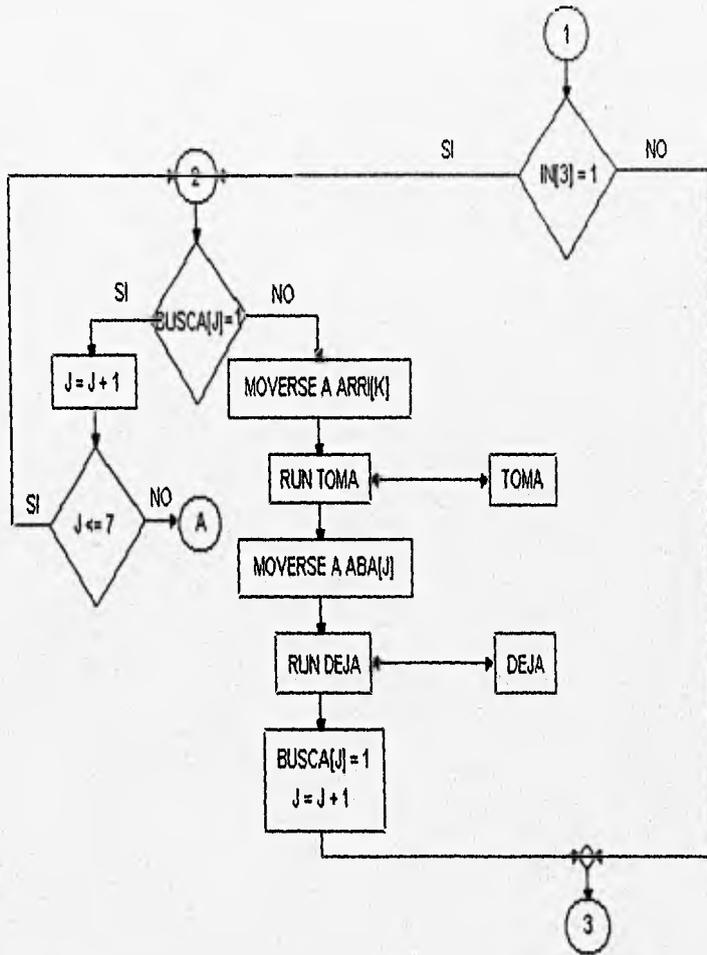
PROGRAMA EJE3

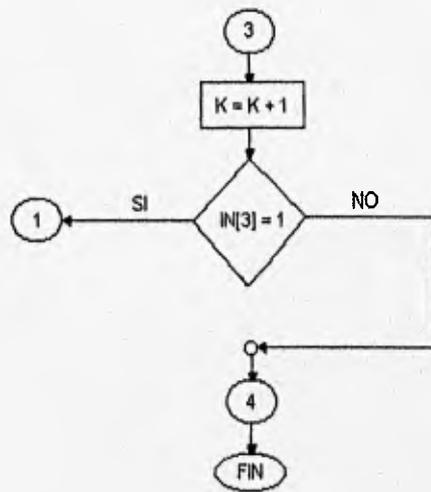


PROGRAMA SCAN

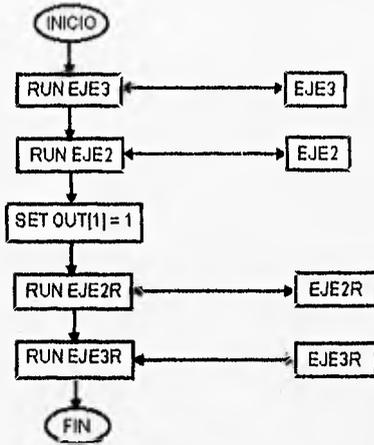




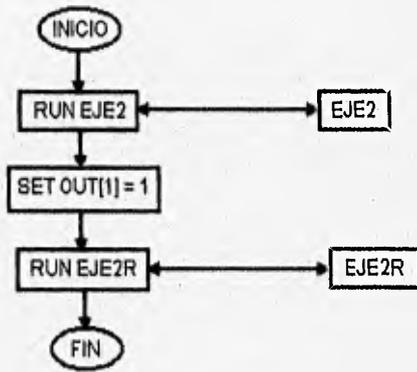




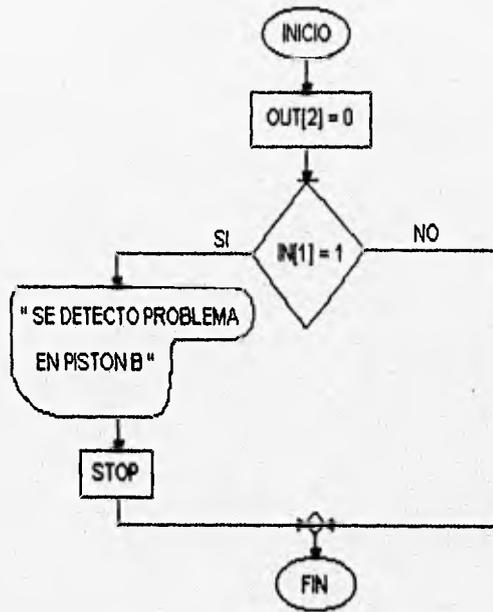
PROGRAMA TOMA



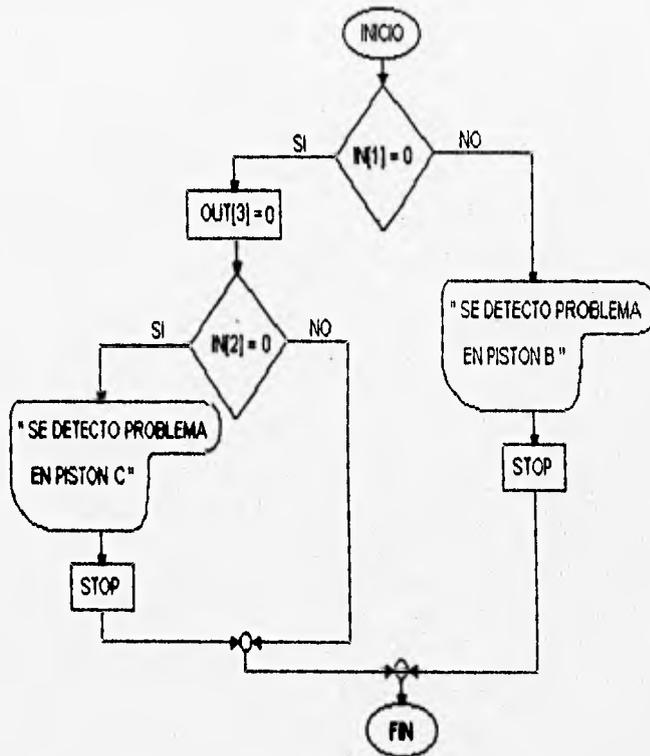
PROGRAMA DEJA



PROGRAMA EJE2R



PROGRAMA EJE3R



PROGRAM AUTO

```
2: HHOME 7
3: HHOME 8
4: HERE INIC
5: MOVED ABA1
6: END
```

PROGRAM EJE2

```
8: SET OUT[2] = 1
10: DELAY 45
11: IF IN[1] = 1 * PISTON B ACTIVADO *
13: ELSE
14: SET OUT[2] = 0
18: PRINT "SE DETECTO PROBLEMA EN PISTON B "
17: STOP
18: ENDIF
19: END
```

PROGRAM EJE3

```
23: IF OUT[2] = 0 * PISTON B DEBE ESTAR DESACTIVADO *
24: SET OUT[3] = 1
25: DELAY 300
26: IF IN[2] = 0 * PISTON C ACTIVADO *
28: ELSE
29: PRINT "SE DETECTO PROBLEMA EN PISTON C"
30: SET OUT[3] = 0
31: STOP
32: ENDIF
33: ELSE
37: PRINT "SE DETECTO PROBLEMA EN PISTON B"
38: STOP
39: ENDIF
40: END
```

PROGRAM SCAN

```

42: SET   OUT[7] = 1
43: SET   OUT[5] = 1
45: SET   OUT[8] = 1
47: SET   OUT[1] = 0
49: DELAY 50
50: SET   OUT[2] = 0
52: DELAY 50
54: RUN   EJE3
55: DELAY 100
56: * DETECTANDO PRESENCIA DE CHAROLAS ARRIBA*
57: FOR   K = 1 TO 7
59:   MOVED ARR[K]
60:   DELAY 200
62:   IF   IN[3] = 1 * HAY CHAROLA EN ARR[K]
64:     SET SCARR[K] = 1
65:   ELSE * NO HAY CHAROLA EN ARR[K]
66:     SET SCARR[K] = 0
67:   ENDF
68: ENDFOR
83: RUN   EJE3R
84: DELAY 200
85: * DETECTANDO PRESENCIA DE CHAROLAS ABAJO *
86: FOR   K = 7 TO 1
87:   MOVED ABA[K]
88:   DELAY 200
92:   IF   IN[3] = 1 * HAY CHAROLA EN ABA[K]
93:     SET BUSCA[K] = 1
95:   ELSE * NO HAY CHAROLA EN ABA[K]
96:     SET BUSCA[K] = 0
97:   ENDF
98: ENDFOR
116: SET  K = 1
117: SET  J = 1
118: LABEL 1
119: IF   SCARR[K] = 1 * CHAROLA EN LA POSICION ARR[K]? *
123: LABEL 2
124: IF   BUSCA[J] = 1 * BUSCA ESPACIO VACIO ABAJO *
126:   SET  J = J + 1
127:   IF   J <= 7
128:     GOTO 2
129:   ELSE
130:     GOTO 4
131:   ENDF
132: ELSE
133:   MOVED ARR[K] * DESPLAZA AL BRAZO HACIA ARR[K] *
134:   RUN   TOMA * TOMA LA CHAROLA *
135:   MOVED ABA[J] * DESPLAZA AL BRAZO HACIA ABA[J] *
136:   RUN   DEJA * COLOCA LA CHAROLA *
137:   SET  BUSCA[J] = 1
138:   SET  J = J + 1
139: ENDF
140: ENDF
141: LABEL 3
142: SET  K = K + 1

```

```
143: IF K <= 7
144: GOTO 1
145: ELSE
146: ENDF
147: LABEL 4
148: END
```

PROGRAM TOMA

```
149: DELAY 200
150: RUN EJE3
151: DELAY 350
152: RUN EJE2
153: DELAY 200
154: SET OUT[1]= 1
155: DELAY 150
156: RUN EJE2R
157: DELAY 150
158: RUN EJE3R
159: DELAY 350
160: END
```

PROGRAM DEJA

```
163: DELAY 200
164: RUN EJE2
165: DELAY 250
166: SET OUT[1]= 0
168: DELAY 100
169: RUN EJE2R
170: DELAY 200
171: END
```

PROGRAM EJE2R

```
173: SET   OUT[2] = 0
175: DELAY 20
176: IF    IN[1] = 1
178: PRINTLN "SE DETECTO PROBLEMA EN PISTON B "
179: STOP
180: ELSE
181: DELAY 80
182: ENDIF
183: END
```

PROGRAM EJE3R

```
185: LABEL 1
186: IF    IN[1] = 0 * PISTON B DEBE ESTAR DESACTIVADO *
188: SET   OUT[3] = 0
190: DELAY 350
191: IF    IN[2] = 0
193: PRINTLN "SE DETECTO PROBLEMA EN EL PISTON C "
194: STOP
195: ELSE
196: ENDIF
197: ELSE
198: PRINTLN "SE DETECTO PROBLEMA EN EL PISTON C "
199: STOP
201: ENDIIF
202: END
(END)
```

CONCLUSIONES

El objetivo principal del dispositivo descrito en la presente tesis, es proporcionar una solución de almacenamiento así como de alimentación de material a un Sistema de Manufactura Flexible didáctico.

El diseño del sistema con respecto a los que uno pudiera encontrarse en la industria presenta algunas diferencias, aunque persiguen el mismo fin. Una de éstas y la más significativa es el uso de pistones para la constitución de un brazo mecánico en movimiento a lo largo de todo el almacén, ya que a nivel industrial estos se colocan en lugares fijos y se emplean generalmente para doblar materiales o para empujar objetos de un punto a otro debido a sus características, ya que solo cuentan con dos posiciones adentro y afuera, dejando la precisión a los sistemas eléctricos, como son los servomotores o los motores paso a paso.

La elección de elementos neumáticos para la construcción del brazo, aún a pesar de la poca precisión que pudieran tener, se debió a varios factores, entre los que podemos mencionar: el relativo bajo costo que estos tienen con respecto a los demás sistemas, son fáciles de operar, casi no requieren mantenimiento, son elementos muy comerciales y el sistema a desarrollar era de tipo experimental y con fines didácticos cuya función es la de tomar y colocar charolas, semejante a la acción que realizan los pistones "meter" y "sacar".

Para proporcionarle al dispositivo la precisión requerida se emplearon servomotores, los cuales garantizan al sistema un aceptable porcentaje de repetibilidad aunque bajo cierta condición, ya que hubo la necesidad de dar una referencia a ambos motores, para lo cual se les tuvo que adaptar un "tope" a cada uno de ellos como punto de partida para las demás posiciones dentro del

almacén, de tal forma que se programó al controlador para que antes de ejecutar cualquier aplicación el brazo fuera llevado a esa posición inicial y a partir de ahí comenzar su rutina de trabajo. Además, el uso de los servomotores permite una mayor cantidad de movimientos y, por lo tanto, un mayor número de espacios para almacenar charolas con material.

Por otro lado, el controlador comercial que se eligió conlleva grandes ventajas, entre otras podemos decir que se buscó homogenizar la comunicación con las demás celdas que conforman al Sistema de Manufactura Flexible, ya que también utilizan uno de este tipo; los servomotores empleados son los mismos que usan los robots comerciales manipulados por este dispositivo; nos permite el accionamiento de todos los elementos en una forma ordenada, lo que asegura la precisión del sistema y la reprogramación de diversas rutinas de trabajo en poco tiempo y de una forma muy accesible gracias al lenguaje de programación estructurado con el que cuenta.

Dentro de las desventajas del diseño del Sistema de Manufactura Flexible (FMS) podemos hacer notar que la altura del Vehículo de Guía Automática (AGV) o cualquier sistema de transportación de material a emplearse, debe adaptarse a las características del almacén debido a la falta de flexibilidad en el diseño del brazo mecánico, esto como consecuencia del uso de pistones, en las demás celdas que conforman al FMS no se presenta este problema pues la recepción de charolas se realiza mediante robots comerciales.

Por último, una vez finalizado el proyecto y después de realizadas las pruebas, podemos concluir que el brazo mecánico funciona y cumple con el propósito para el cual fue realizado, sin embargo, es importante mencionar que el sistema no es aplicable a nivel industrial debido a las limitantes ya mencionadas.

Referencias.

- Angulo Usategui, Josa Ma.**, Guía fácil de Robótica; Parafino, Madrid, 1986.
- Audi Plera, Daniel**; Como y cuando aplicar un robot industrial, Anaya, Madrid, 1988.
- Ayres, R.U.**, Computer Integrated Manufacturing Vol 1. Revolution in Progress, Chapman & Hall, UK., 1990.
- Ayres, R.U., et.al.**, Computer Integrated Manufacturing Vol 2. The past, the present and the future, Chapman & Hall, UK., 1992.
- Baumgartner, H., Knishewski, K.**; CIM. Consideraciones básicas, Marcombo, Barcelona, 1991.
- Boylestad R., Nashelsky L.**; Electrónica Teoría de Circuitos, Prentice Hall, México, 1996.
- Elliott, Joseph.**, Industrial Store, MIT Press, EE.UU., 1982.
- Farrando Boix, Ramón**; Circuitos Neumáticos, Eléctricos e Hidráulicos; Marcombo, México-Barcelona,
- Ferré Masip, Rafael**; La Fábrica Flexible; Marcombo, Barcelona, 1988.
- Fincher, David**; Devices of Material Handling; MIT Press, EE.UU., 1988.
- Gerstenfeld, A., Berger, P.**; A model for economic and social evaluation of industrial robots, Proc. 12th Internat. Symp. Industrial Robots, EE.UU., 1982.
- Goatsch, David L.**, Advanced Manufacturing Technology, SME, EE.UU., 1990.
- González, G. L.**, Diplomado en Automatización Industrial, UNAM - FESTO DIDACTIC, México, Febrero 1994.

Groover, Mikel; et.al., Robótica Industrial... tecnología, programación y aplicaciones, Mc.Graw Hill, España, 1989.

Harlin, Renny H.; Development of Modern Storage, AER, EE.UU., 1988.

Immer, John R., Manejo de Materiales; EHE, México, 1983.

Kazanas, H.C., et.al., Procesos Básicos de Manufactura; Mc.Graw Hill, México, 1983.

Kolchar, A.K., Burns, N.D., Microprocessors and their Manufacturing Applications, E. Arnold, London, 1983.

Luggen, William W., Flexible Manufacturing Cells and Systems, Prentice Hall, New Jersey, 1991.

Melxner, H., Sauer E., Iniciación a la Electroneumática, Manual de Estudio para el Seminario FESTO PE 23.

McCloy, D., Harris, D.J., Robótica Una Introducción; Limusa, México, 1993.

Riggs, James L.; Sistemas de Producción, Limusa, México, 1980.

Ross, M.H.; Automated manufacturing, Mc Graw Hill, EE.UU, 1987.

Schmitt, Neil, Farwel, Robert; Robótica y Sistemas Automáticos; Anaya, Madrid, 1988.

Scholtz-Reiter, B.; CIM Interfaces, Chapman & Hall, UK, 1992.

Tien-Chien, Chang, et. al. ; Computer-Aided Manufacturing, Prentice-Hall, New Jersey, 1991.

Vázquez, M. C., PLC's para Procesos Discretos, Manufactura, Vol. 2 No. 10, ENE/FEB 1996.