



307617
39
2 y

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACION
DE LA ROBOTICA EN LA INDUSTRIA MEXICANA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA PRINCIPAL EN INGENIERIA MECANICA)

P R E S E N T A

IGNACIO VILLALOBOS PRIETO

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1987



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 está 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.

INDICE GENERAL

		Páginas.
	INTRODUCCION	5
I	CONCEPTOS GENERALES SOBRE ROBOTICA	
	1.1 La Robótica, una nueva tecnología	8
	1.2 Automatizaciones Rígida y Flexible	11
	1.3 Definición y propiedades características de un robot	14
	1.4 Clasificación General de los robots	17
II	CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT	
	2.1 Grados de libertad de un robot	22
	2.2 Variables a controlar en un robot	25
	2.3 Principios de servicontrol	29
	2.4 Sistemas motores más utilizados en los robots	31
	2.5 Sensores internos y externos	34
	2.6 Sistemas de control	43
	2.7 Efectores Finales	45
III	ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA APLICACION INDUSTRIAL DE LOS ROBOTS	
	3.1 Aplicaciones más usuales de la robótica en la industria	48
	+ Fundición	48
	+ Tratamientos Térmicos	51
	+ Soldadura	51
	+ Pintura	56
	+ Mecinado	58
	+ Estiba,je y Almacenaje	60
	3.2 Futuras aplicaciones	57
	3.3 Factores que justifican la robotización de un proceso	63
IV	IMPACTO SOCIO ECONOMICO DE LA ROBOTIZACION EN LA INDUSTRIA	
	4.1 Efectos socio-económicos mundiales de la robotización	67
	4.2 Posible impacto social de la robotización industrial mexicana	69

4.3 Análisis económico de la robotización industrial	71
4.4 Posibilidades más viables de robotización en México	74
CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFIA	82

INTRODUCCION

La robótica industrial es una nueva tecnología que pretende reducir costos u aumentar la calidad y uniformidad de la producción, u que, junto con la manufactura integrada -- por computadora, constituye la alta tecnología.

Esta alta tecnología, también llamada tercera revolución industrial (siendo la primera la mecánica y la segunda la electrónica), tiene la ventaja de poder constituir una automatización flexible que, por sus características favorables frente a otros tipos de automatización y de producción está teniendo ya un gran auge en varios países.

En la actualidad, a pocos años de haberse producido el primer robot, esta tecnología basada principalmente en la flexibilidad de la computadora ya está teniendo repercusiones mundiales u su uso se está expandiendo y acelerando, por ahora en los países industrializados principalmente.

Con la recesión mundial debida principalmente a la restricción de las utilidades por el incremento de los salarios u la desaceleración en el crecimiento de productividad, las compañías de los países altamente desarrollados tienen una tendencia a invertir en sus países de origen para automatizar sus fábricas en lugar de, como en los años 70's, invertir en países en desarrollo con mano de obra barata. Debido a ello u al aumento de productividad y calidad de estos países en el mercado mundial, los países recientemente desarrollados o en vías de desarrollo, como México, deben analizar las posibilidades de automatización, ya no rígida - sino flexible, en los diferentes sectores industriales para poder tener productos competitivos en el mercado, que les -

permitan salir de la espiral de descapitalización en la que se encuentran actualmente a causa de esta nueva tendencia - en los países desarrollados.

Este trabajo hace justamente un análisis de la pieza central de la automatización flexible, los robots, y las aplicaciones más viables de estos en la industria mexicana - para poder subsistir dentro del mercado mundial.

Primeramente se da una breve historia de la robótica y se denotan sus nexos con el desarrollo acelerado de la computación y la microelectrónica mencionando después que estas aplicaciones actuales de la robótica forman únicamente un paso en el proceso hacia la introducción de diseños y -- manufactura apoyados por computador (CAD/CAM), que permitirá la casi total automatización de los procesos de fabricación. Trata sobre las diferencias de las automatizaciones flexible y rígida, definiendo también lo que es un robot, - sus características y su clasificación.

Este trabajo no trata sobre un diseño en particular de un robot, trata los conceptos fundamentales en el diseño - de los robots en general para tener una visión aún mejor de lo que es y lo que puede llegar a ser la robótica en un futuro cercano, no profundizando más de lo necesario para comprender los costos y las posibles aplicaciones de las diferentes generaciones y tipos de robots.

Se hace un análisis sobre los puntos más importantes y características de un proceso con posibilidad de robotizarse, se tratan también las principales aplicaciones industriales de la robótica y las características de los robots recomendables para cada una de ellas.

Al final se analizan los aspectos socio-económicos mun

-diales de la robotización, mencionando las repercusiones -
que está teniendo en la actualidad y previendo las que ten-
drá en un futuro. El trabajo se centra posteriormente en la
industria mexicana analizando el posible impacto social y -
las ventajas y desventajas económicas de la robotización en
México, así como las aplicaciones que, más probablemente, -
tengan éxito en nuestro país.

C A P I T U L O I

CONCEPTOS GENERALES SOBRE ROBOTICA

1.1 LA ROBOTICA, UNA NUEVA TECNOLOGIA

A partir de la recesión de los años 70's, las compañías de los países industrializados, principalmente las norteamericanas, tuvieron dos tendencias para sobrevivir: la primera era la de automatizar sus plantas matrices para disminuir la mano de obra interna, cada vez más cara; pero este tipo de automatización (automatización rígida) es muy cara y estaba enfocada para producciones masivas - de artículos.

Por este motivo, la segunda tendencia fue la de instalar subsidiarios en los países en desarrollo, aprovechando las facilidades que ofrecían los gobiernos y la baratura de la mano de obra.

Con los adelantos logrados en la computación, tanto - en la microelectrónica (hardware), como en la programación (software), los científicos y los industriales se preguntaron si la flexibilidad extraordinaria de las computadoras - podría aplicarse en la fabricación de productos, y se esforzaron por lograr esta conjunción, surgiendo lo que ahora -- se conoce como alta tecnología.

Esta alta tecnología está constituida por la manufactura integrada por computadora y principalmente por la robótica, es decir, la ciencia que estudia lo relacionado -- con los robots.

La palabra "robot" viene de la palabra checoslovaca "robotnik" que significa trabajador o siervo y que fue usada por el escritor de teatro Karel Capek en su obra R.U.R. (Robots Universales de Rossum) en 1920, obra de ficción -- que explora las posibles implicaciones sociales del uso de andróides para trabajos duros, los cuales, al final de la

obra se sublevaron contra el género humano.

El tema de los robots se ha tratado desde muchos aspectos desde entonces, como en el libro de Isaac Asimov o principios de los cincuenta, o en muchos otros libros y películas, pero ahora, con el surgimiento de la alta tecnología, los autómatas no son ya una ficción sino una realidad que se desarrolla rápidamente y que en la actualidad, ya tiene repercusiones a nivel mundial.

Durante los años cincuenta se empezaron a aplicar controles electrónicos en algunos autómatas, pero los componentes electrónicos eran muy costosos e ineficientes comparados con los actuales. Para 1955 Planet Corp. introdujo el primer robot práctico usado para manipular fundiciones calientes, el cual, era reprogramable. Durante este período Joseph Engelberger y George Devol se encontraron y formaron una nueva compañía llamada Unimation Inc. que para 1961 usó el primer robot industrial en una línea de fundición.

Los primeros robots se basaron en controles analógicos y sus problemas fueron la programación de sus movimientos - hasta la llegada de las minicomputadoras con las que se logró un avance muy fuerte en el campo de la robótica. Para 1970 había unos cientos de robots en uso en todo el mundo y no fue sino hasta 1978 cuando la robótica fue tomada en cuenta por los industriales de los países desarrollados.

En Japón la robótica se extendió rápidamente debido a que el pueblo japonés necesitaba importar gran parte de las materias primas y los alimentos que se consumen en la isla, y sólo los puede obtener vendiendo al exterior productos manufacturados.

Las compañías solo pueden incrementarse en número y capacidad con el uso de robots. Por esta razón, para fines de 1981 se utilizaban alrededor de 4700 robots industriales en Estados Unidos mientras que en Japón se usaban ya 14700 de un total aproximado de 27000 en todo el mundo.

Se espera que en Estados Unidos, a partir de 1985 el incremento en venta y uso de robots sea de un 35% anual y compañías como la General Motors, que para fines de 1984 contaba con 2500 autómatas en sus plantas, espera tener, para 1990, 14000 robots, y las demás grandes productoras de automóviles no tienen otra opción que seguir sus pasos.

Debido a estos adelantos tecnológicos las industrias de los países desarrollados que se enfrentan al problema de "automatizarse, emigrar o evaporarse" prefieren la automatización flexible que la inversión en países en desarrollo.

Existen algunos ejemplos de compañías con matrices en países industrializados que tienen subsidiarias en países en desarrollo y que, cuando han tenido que elegir el lugar donde ampliar sus plantas, han elegido invertir en automatización flexible en su lugar de origen como la General Motors, Motorola, Hitachi, Fujitsu, etc.

Existen otros que no solo han invertido en su lugar de origen, sino que han cerrado sus subsidiarias. Esto no quiere decir que las grandes compañías ya no quieren invertir en los países en desarrollo o en los recientemente industrializados, pero la tendencia a hacerlo se va debilitando cada vez más con los nuevos adelantos de la alta tecnología, ya que, su costo va disminuyendo, su eficiencia aumenta, las tareas que pueden desempeñar los robots -

de la 3a. generación son mucho más complejas que las que podían realizar los de la 2a. y la. generación y todo esto frente a la barata pero descalificada mano de obra de los países en desarrollo, representa una mayor competitividad (productividad, calidad y uniformidad en la producción) dentro del mercado mundial.

1.2 AUTOMATIZACIONES RIGIDA Y FLEXIBLE

a) AUTOMATIZACION RIGIDA.- La base de la automatización rígida la constituye un proceso de producción predeterminado y difícilmente modificable, usado para la producción de un volumen muy grande de unidades. Se basa en los trabajos de Taylor sobre la división de tareas y en la introducción de líneas de montaje por el Sr. Ford.

Este tipo de automatización provocó un nuevo tipo de mercado y de consumo que trajo consigo la expansión del capitalismo hasta fines de la década de los sesentas.

La automatización rígida se basa en el aumento de la productividad a través de dos mecanismos:

- + La parcelización del trabajo en tareas simples y repetitivas que aumentan la productividad y descalifican el trabajo, abaratándolo.
- + La banda transportadora que disminuye los tiempos muertos en el transporte de la materia en proceso.

Estos cambios constituyeron una revolución tecnológica que permitió aumentar sensiblemente el volumen de mercancías producidas y disminuir su valor, al tiempo que incrementa el ingreso de la fuerza de trabajo obrera a fin de convertirla en consumidora.

A principios de la década de 1970, con la crisis, se

manifiestan las desventajas de este tipo de automatización:

+ Los aumentos en la productividad disminuyen drásticamente, no solo debido al agotamiento de porosidad en el sistema productivo, sino al aumento de la rotación del trabajo y el ausentismo provocados por la presión y monotonía del mismo.

+ Los aumentos en productividad se asocian a un aumento de maquinaria y equipo que produce costos por su desvalorización u requiere gran inversión, siendo a la vez muy rígido este sistema de producción que solo se amortiza si existe un gran mercado.

De esta manera, la crisis que se manifiesta en un deterioro de los salarios u por lo tanto en una disminución del mercado afecta sensiblemente a este tipo de producción.

b) AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE.- Este tipo de automatización se basa principalmente en la extraordinaria flexibilidad de la computadora que, con solo cambiar su programa se puede emplear en miles de usos diferentes. La forma para introducir esta flexibilidad en la producción industrial era mediante robots principalmente.

Después de la crisis de los 70's el capitalismo necesitaba desarrollar un tipo de automatización que no estuviera asociado necesariamente a la producción de grandes series, pero que mantuviera las ventajas de las economías de escala.

La automatización flexible, a diferencia de la rígida, se caracteriza por sistemas de producción automatizados que no siguen una secuencia predeterminada u difícil de cambiar, sino que se pueden programar para sujetarse a diferentes requerimientos productivos. Esta automatización mantiene las

ventajas de la economía de escalas, pero tiene capacidad de adaptación a las variaciones de la demanda.

Por su misma flexibilidad, mantiene las ventajas de las líneas de producción en cuanto al ritmo, logrando al mismo tiempo la adaptación a nuevos productos.

La automatización flexible puede usarse en producciones pequeñas y medianas por su adaptación a la alta variedad de modelos como en el caso de la industria de piezas metálicas, de moldes y troqueles.

La computadora, base de la automatización flexible, -- sirve como enlace y "cerebro" en la integración de robots, máquinas herramientas de control numérico y los sistemas de diseño y manufactura auxiliados por computadora (CAD/CAM).

Los diseños integrados donde desde el diseño, la manufactura, el control de calidad y el almacenaje están controlados por computadora, han aumentado en muy alto grado la productividad y la rapidez de respuesta frente a las -- fluctuaciones del mercado en empresas de Estados Unidos y Japón y, aunque todavía no está muy difundido su uso, se -- prevé que tendrán una presencia significativa en la industria en poco tiempo ya que, en la actualidad, existen ya -- inversiones fuertes en máquinas herramientas de control numérico, robots y sistemas CAD/CAM en países industrializados y un poco en algunos países en desarrollo.

La tendencia actual hace suponer que los países en desarrollo deben invertir cuanto antes en la automatización -- flexible si quieren seguir siendo competitivos, pero deben estudiar muy bien los sectores donde deben hacerlo ya que -- cuentan con mano de obra barata y la inversión necesaria para este tipo de automatización es muy alta.

1.3 DEFINICION Y PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE UN ROBOT

Muchas personas identifican el concepto de robot con un ser antropomorfo que habla y tiene sentimientos debido a lo que nos muestra la literatura y el cine de ciencia - ficción respecto al tema.

En realidad los robots industriales actuales distan mucho de ser lo que aparece en las películas u la definición difiere aún entre los expertos de todo el mundo. El Instituto Americano de Robótica define al robot como un "manipulador multifuncional reprogramable". Esta definición se puede ampliar diciendo que un robot es un "mecanismo manipulador multifuncional reprogramable, fijo o - móvil, diseñado para ejecutar diversas tareas, dirigido por uno o varios microprocesadores y que puede operar por si solo o en conjunción con otras máquinas programables, controlado el conjunto por computadora".

Dentro de la definición anterior de robot, una de las palabras clave y causa de las divergencias de opinión entre los expertos, es la de "reprogramable" debido a que en esto se basa la flexibilidad de estos mecanismos y para muchos, esta es una de las características principales de un robot que lo diferencian de otro tipo de manipuladores. En cambio, para los japoneses, existen robots que no se controlan por computadora o microprocesador, sino tan solo mediante una serie de interruptores electro-mecánicos, y que constituyen lo que ellos clasifican como robots de secuencia fija.

En la actualidad la mayoría de los robots instalados - en la industria pertenecen a la primera y segunda generacio- nes de robots constituidas por máquinas que solo pueden rea- lizar tareas sencillas siguiendo un movimiento secuencial,

ya sea, punto a punto o de trayectoria controlada, pero con muy poco o ningún conocimiento del efecto de su acción o del medio donde están.

Estas máquinas desarrollan tareas repetitivas con mayor velocidad y más confiabilidad que los operadores humanos, pudiendo soportar trabajo continuo y ambientes adversos para el hombre.

Los robots industriales actuales están constituidos - por cuatro partes principales: la primera es el manipulador compuesto por un antebrazo, un brazo y una columna central giratoria que lo sostiene y que generalmente está anclada al suelo.

La segunda parte de un robot es el efector final que - comúnmente está compuesto de unas pinzas o instrumento presil capaz de asir un objeto o cambiarlo de posición. en algunos casos el efector final puede ser un electrón o un aditamento que por medio de vacío se adhiere a objetos planos para moverlos de posición.

Todas estas partes móviles de un robot son accionados mediante motores eléctricos, hidráulicos, neumáticos o una combinación de estos y contienen sistemas de chumaceras y de muñones para que las articulaciones funcionen desde el punto de vista mecánico.

Las otras partes que constituyen a este tipo de mecanismos son la fuente de poder y la unidad de control. La fuente de poder toma la energía de la línea, ya sea eléctrica, hidráulica o neumática para alimentar a los actuadores obediendo los ordenes de la unidad de control.

La unidad de control en un robot puede consistir en una serie de contadores de tiempo, limitadores de recorrido

o interruptores ajustables, pero para que realmente sea -
versátil o flexible, normalmente está formada por uno o -
varios tipos de microprocesadores que trabajan coordinada-
mente, enviando ordenes a la fuente de poder para poner en
movimiento a los actuadores secuencial o simultaneamente,
según el programa alimentado al robot.

Esta misma unidad de control recibe señales de algu-
nos sistemas de protección para interrumpir los movimien-
tos del robot cuando existe alguna anomalía dentro del
campo de acción del robot. En robots de la segunda genera-
ción, la unidad de control recibe señales de retroalimen-
tación para saber su posición y velocidad actuales, las -
compara con las que debería tener y manda señales de co-
rrección a la fuente de poder.

Los límites técnicos de los robots actuales son prin-
cipalmente los sistemas de control retroalimentados, que -
distan mucho de ser lo suficientemente elevados o sofisti-
cados, para que el robot pueda desempeñar tareas en las --
que sea necesario modificar sus acciones en tiempo real de
acuerdo a su posición y movimiento respecto al medio de --
trabajo.

Un problema mayor que debe resolverse para que los ro-
bots puedan realizar todo su potencial es la carencia de -
sistemas sensores artificiales con una resolución compara-
ble a la combinación de vista y cerebro humanos.

En la tercera generación de robots se están probando y
perfeccionando sistemas de visión y reconocimiento de patro-
nes, así como otros sistemas sensitivos como los de presión,
proximidad, sonar, etc., y sistemas que permitan a los ro-
bots desplazarse en diferentes medios de trabajo.

La fabricación y aplicación de los robots de la primera y segunda generaciones han empezado a tener repercusiones mundiales, pero no se asemejan a las que tendrán los robots de la tercera y cuarta generaciones con sistemas sensores y de retroalimentación más avanzados.

1.4 CLASIFICACION GENERAL DE LOS ROBOTS

Existen varias formas de clasificar a los robots. La primera de ellas es la de clasificarlos de acuerdo al uso al que son destinados y dentro de esta clasificación se encuentran los robots de servicio doméstico, de los cuales - existen pocos tipos como el Hero I con tareas muy simples para desempeñar.

Otro tipo serían los destinados a la enseñanza y entrenamiento industrial como el RHINO XX que tienen un aspecto muy similar a los industriales en cuanto a movimientos y formas de programar y manejar, pero que son de mucho menor tamaño y menor capacidad de carga. Este tipo de robots puede utilizarse para entrenar técnicos y operarios, para demostraciones en Universidades o institutos y para investigación de métodos de producción más eficientes, simulando con ellos un proceso industrial con automatización flexible.

Los más importantes y más utilizados son los robots - industriales que se aplican en los diferentes procesos de producción y son en los que se centrará este trabajo.

Por último existen dentro de esta clasificación, robots especializados como los que se emplean o utilizar en el campo para cuidar y recoger cosechas, los que se usan en la exploración de los planetas o del fondo del océano o los -

usados en el rescate de satélites. En medicina también se está experimentando con robots para realizar tomografías y en la milicia se experimenta con robots móviles para vigilancia y espionaje, pensando que más adelante estos pueden manejar algún tipo de armamento.

Existe otra forma de clasificar a los robots de acuerdo a su funcionamiento y capacidades de operación.

Dentro de esta clasificación los robots pueden tener sistemas motrices muy diversos y una geometría diferente dentro del mismo tipo de robot, siendo, los sistemas de control lo que caracteriza a cada tipo.

Aún dentro de esta clasificación existen tres diferentes formas de clasificar a los robots; la adoptada por la Asociación Japonesa de Robots Industriales (AJIRA), la usada por el Instituto Americano de Robótica (RIA) y la que adoptó la Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI).

a) CLASIFICACION AJIRA

+ Clase 1 .- Manipulador.- Unidad provista con funciones equivalentes a las del brazo humano (varios grados de libertad) con posibilidad de mover objetos en el espacio y manejada por el operador.

+ Clase 2 .- Robot de Secuencia Fija.- Unidad de manipulación que realiza movimientos en etapas sucesivas de acuerdo con secuencias, condiciones y posiciones preestablecidas que son difíciles de cambiar.

+ Clase 3 .- Robot de Secuencia Variable.- Unidad de manipulación que realiza sus tareas de acuerdo a información preestablecida fácilmente modificable.

+ Clase 4 .- Robot de Reproducción.- Unidad a la que el operador guía moviéndolo manualmente o controlándolo

para almacenar la información de secuencias, la cual posteriormente, puede ser leída infinitas veces cuando el robot opera en el modo automático.

- + Clase 5 .- Robot de Control Numérico.- Unidad capaz de realizar sus movimientos secuenciales de acuerdo a un programa, en lugar de ser enseñado manualmente.
- + Clase 6 .- Robot Inteligente.- Unidad capaz de conocer y entender el ambiente de trabajo en el que se encuentra y con la habilidad de llevar a cabo tareas, aún con cambios en las condiciones que le rodean.

b) CLASIFICACION RIA.- Dentro de esta clasificación, la 1a. y 2a. clases del JIRA no se consideran como robots ya que, los de la clase 1 necesitan en todo momento la intervención de un operador, por lo que no son automáticos y los de la clase 2 no son reprogramables ya que la secuencia es fija y se considera dentro de la automatización rígida.

Las otras cuatro clases se consideran de la misma forma que en la clasificación JIRA.

c) CLASIFICACION AFRI

- + Tipo A .- Equivale a la clase 1 del JIRA, manipulador con control manual o telecontrol.
 - + Tipo B .- Equivale a las clases 2 y 3, manipulador automático de ciclo predeterminado.
 - + Tipo C .- Equivale a las clases 4 y 5 del JIRA, robot automático programable, ya sea, de trayectoria continua o punto a punto.
 - + Tipo D .- Equivale a la clase 6 dentro del JIRA, robot con capacidad de adquirir datos del ambiente.
- También existen las llamadas generaciones de robots,

las cuales son una forma de clasificarlos de acuerdo al adelanto tecnológico con que se realicen: los que pertenecen a la primera generación son los robots reprogramables, sin ningún tipo de sensor para tomar datos del exterior.

Los de la segunda generación son robots más sofisticados que cuentan con sensores limitados como los de proximidad, luz infrarroja, presión, etc.

En la actualidad se está empezando a experimentar con robots que se podrían contar dentro de la 3a. generación, con la capacidad de adquirir datos más completos del medio exterior mediante sensores más sofisticados que les proporcionan capacidades como la visión en tercera dimensión y comprensión del lenguaje humano.

Dentro de los robots reprogramables existen dos tipos de control: el control punto a punto y el de trayectoria - continua.

CONTROL PUNTO A PUNTO. - Al trabajar con robots que tienen este tipo de control el operador mueve al robot, mediante el control manual, a los diferentes puntos en el espacio que él desee, de acuerdo al trabajo que vaya a realizar y a los obstáculos que pueda tener. Al llegar a cada punto, el operador almacena la información en la memoria del robot, para que éste al realizar su tarea en automático realice esa trayectoria.

Entre un punto y otro el robot se mueve en línea recta en el espacio por lo que este tipo de controles solo se puede usar en trabajos donde solo importen las posiciones y no las trayectorias, como por ejemplo en trabajos donde el robot toma las partes de un punto y las deposita o almacena en otro.

Estos tipos de robots tienen un modo especial para programación dentro del cual los movimientos del robot son mucho más lentos y se tiene mejor control sobre él. Ya en el modo automático, el robot opera a su velocidad normal, una vez que ha sido enseñado.

También tienen diferentes niveles de exactitud para que, en posiciones donde no necesite mucha exactitud, el robot pueda desarrollar su máxima velocidad, y cuando requiera exactitud, realiza más lentamente su movimiento.

CONTROL DE TRAYECTORIA CONTINUA.- Existen tareas en la industria, donde es necesario controlar no solo los puntos inicial y final de cada etapa del movimiento, sino también la trayectoria que sigue el robot entre ellos como por ejemplo en trabajos de soldadura de arco o pintura con pistola.

El control de trayectoria continua establece no solo el camino que debe seguir el robot durante todo su movimiento, sino también la velocidad y aceleración que debe tener a lo largo de este. El robot puede ser "enseñado" ya sea llevándolo manualmente en el recorrido o con un programa que establezca con exactitud la velocidad y posición del efector final a lo largo de su trayectoria.

Como se mencionó anteriormente, los robots también se pueden clasificar de acuerdo a sus grados de libertad, a la geometría del brazo, a si son móviles o fijos y a sus sistemas motrices, pero las clasificaciones principales son de acuerdo a su uso y de acuerdo a su sistema de control.

C A P I T U L O 11
CRITERIOS FUNDAMENTALES
PARA EL DISEÑO DE UN ROBOT

2.1 GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT

Cualquier punto de un objeto está relacionado a un arreglo ortogonal compuesto por los tres ejes de coordenadas y el número de movimientos independientes que pueda realizar respecto a estos ejes se llama "número de grados de libertad".

Los movimientos independientes que puede realizar cualquier punto en el espacio son los siguientes:

- + Tres movimientos de traslación a lo largo de los ejes X , Y y Z que podremos llamar T_x , T_y y T_z .
- + Tres movimientos de rotación alrededor de los ejes X , Y y Z que podremos llamar R_x , R_y y R_z .

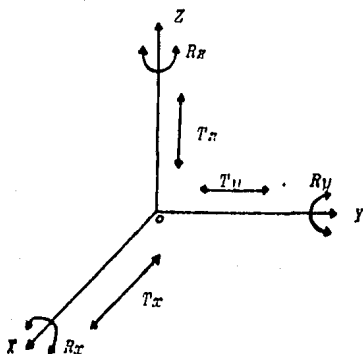


Fig. 1

Estos son los 6 grados de libertad mediante los cuales un objeto puede moverse y orientarse con respecto a los ejes cartesianos.

Cuando existe alguna relación entre 2 objetos, cada uno no pierde grados de libertad con respecto al otro, es decir, los movimientos de traslación y rotación de un objeto res-

-pecto al otro que son imposibles debido a la relación existente entre ellos, son los grados de libertad que pierden.

Un robot debe ser capaz de mover y orientar su efector final, o la herramienta adherida a este, de acuerdo al trabajo que se le asigne. Si el trabajo al que será asignado es desconocido, o son varios trabajos diferentes, el robot deberá poseer los 6 grados de libertad, para tener la máxima funcionalidad.

Si dentro del trabajo del robot se encuentran simetrías en las herramientas que manejará o en los lugares donde estas deben colocarse, el robot podrá tener menos grados de libertad y, por lo tanto, ser más adecuado para ese trabajo necesitando de una menor inversión.

Como por ejemplo, si el robot debe colocar una esfera en un punto, solo necesita tres grados de libertad, los 3 movimientos de traslación para mover la esfera de un punto a otro, ya que las tres rotaciones que dan la orientación no son necesarias para una esfera.

Generalmente los tres grados de libertad de traslación en un robot están en el brazo y cualquier aumento en los grados de libertad para la orientación de la herramienta, se localiza en el efector final.

Existen otros movimientos en los robots que no pueden considerarse como grados de libertad de estos, ya que no son capaces de modificar la posición ni la orientación de la herramienta, sino que son movimientos auxiliares que se unen a los demás movimientos del robot para completar su tarea. Algunos ejemplos de estos movimientos son la rotación de una herramienta (broca, fresa, etc.) para realizar un maquinado y el movimiento de cerrar u abrir el efector

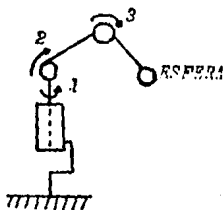


Fig. 2.- Para colocar una esfera solo se necesitan 3 grados de libertad.

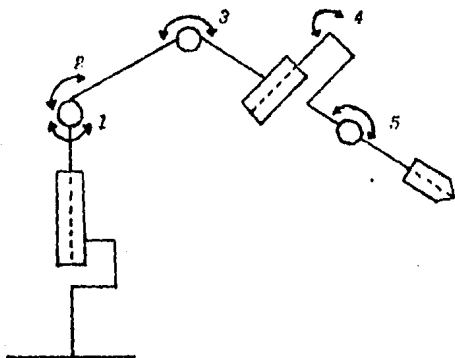


Fig. 3.- Para posicionar una herramienta cilíndrica se requieren 5 grados de libertad máximo.

final para tomar o dejar algún cuerno o herramienta.

Existen articulaciones que permiten movimientos que pueden o no constituir grados de libertad para un robot.

Por ejemplo, cuando un robot a causa del medio donde

trabajo, necesita tener más de dos articulaciones en un mismo plano, las articulaciones sobrantes ya no incrementan los grados de libertad del robot, sino solo sus grados de movilidad. Un robot tiene como máximo seis grados de libertad, pero puede tener mucho más grados de movilidad.

El robot tiene un área de trabajo dentro de la cual su efector final puede alcanzar piezas y debe ser capaz de alcanzar cualquier punto en el espacio que esté dentro de esta área, o más adecuadamente, volúmen de trabajo. Existen varias configuraciones geométricas que han sido analizadas y se han puesto en práctica en los robots usando los siguientes métodos:

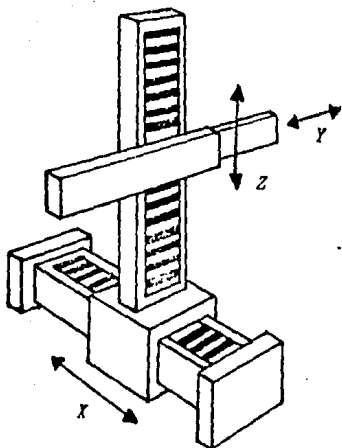
- + Coordenadas Cartesianas.
- + Coordenadas Cilíndricas.
- + Coordenadas Polares.
- + Coordenadas de Revolución.

Evidentemente cada método crea una forma diferente de volúmen de trabajo y una fuerza diferente mediante la que el robot alcanza los puntos en el espacio. Debido a esto los robots deben ser escogidos de acuerdo al trabajo al que serán encomendados, teniendo especial cuidado en las coordenadas que deberá manejar y los grados de movilidad y de libertad que necesite para tal tarea.

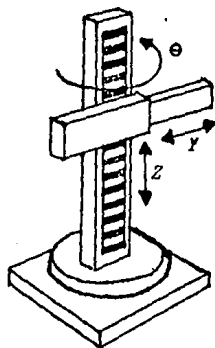
2.2 VARIABLES A CONTROLAR EN UN ROBOT

Para que un robot pueda tomar una pieza de un lugar en específico, es necesario saber el estado del efector final (su posición, orientación y si está abierto o cerrado) con respecto a la pieza que va a tomar.

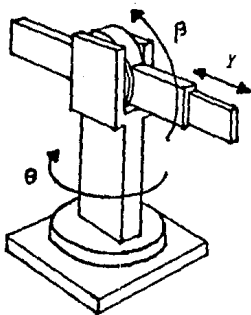
La posición de la pieza se conoce en las coordenadas



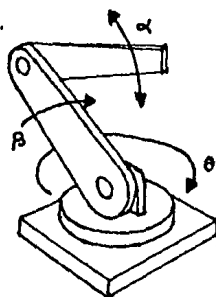
a) *Coordenadas Cartesianas*



b) *Coordenadas Cilíndricas*



c) *Coordenadas Polares*



d) *Coordenadas de Revolución*

Fig. 4

ortogonales X, Y y Z . El estado del efector final está expresado dentro de este sistema de ejes mediante algunos parámetros que componen al vector \underline{X} . Este vector se debe controlar a través del tiempo por lo que es el vector $\underline{X}(t)$.

El vector $\underline{X}(t)$ se controla, en un robot con coordenadas de revolución, mediante el cambio de los ángulos θ_1 al θ_6 como se muestra en la figura 5, los cuales forman el vector $\underline{\theta}(t)$ y este a su vez se controla mediante los ángulos entre brazos que constituyen el vector $\underline{C}(t)$.

El vector $\underline{C}(t)$ cambia de acuerdo a los torques dados por los motores, a través de la transmisión a las articulaciones, los cuales forman el vector $\underline{T}(t)$. Los motores mandan los torques de acuerdo a las relaciones voltaje-corriente de cada uno, que constituyen el vector $\underline{V}(t)$, el cuál es dirigido por el procesador o procesadores del robot.

Al controlar un robot se debe controlar la ecuación vectorial bidireccional:

$$\underline{V}(t) \leftrightarrow \underline{T}(t) \leftrightarrow \underline{C}(t) \leftrightarrow \underline{\theta}(t) \leftrightarrow \underline{X}(t)$$

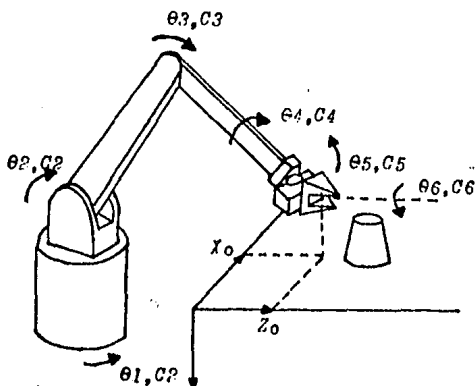


Fig. 5

Dentro de las características principales de un robot se encuentran dos que están íntimamente relacionadas con la interacción de las variables de un robot; estas son la exactitud y el trabajo dinámico de un robot, las cuales normalmente están en contraposición, ya que al aumentar una, la otra disminuye y al aumentar una manteniendo la otra constante, el costo del robot aumenta en forma considerable.

Para disminuir el error en el servocontrol y así aumentar la exactitud sin provocar problemas de vibración, es necesario disminuir la velocidad. Además de la exactitud en la posición, velocidad y aceleraciones positiva y negativa, otra variable a tomar en cuenta es la inercia, ya que un robot debe ser capaz de hacer un movimiento con variaciones de peso en el efector final, desde moverse en "vacío", hasta realizar el movimiento con el peso máximo para el que - fue diseñado, por lo que en algunos casos, el robot tiene sensores para el peso y según este y la distancia entre el punto inicial y el punto final del recorrido realiza el movimiento con diferentes aceleraciones y velocidades, para adaptarse a la exactitud requerida.

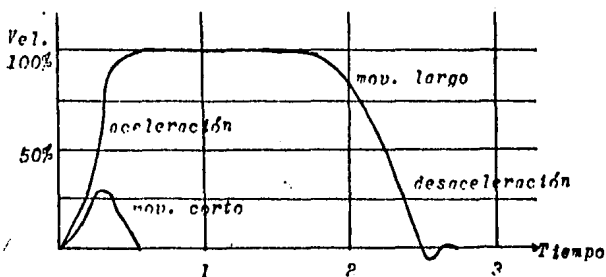


Fig. 6.

Para considerar la exactitud total de un robot, se debe tomar en cuenta la exactitud de cada articulación y la interacción entre ellas para con estos datos obtener la exactitud total del robot (por supuesto, menor que la de cada articulación por separado).

2.3 PRINCIPIOS DE SERVOCONTROL

Los servosistemas son sistemas electromecánicos en los que la salida, ya sea posición, velocidad o torque, está constantemente controlado por un comando de entrada.

Existen servomotores con una relación lineal entre su velocidad de rotación y el voltaje de entrada dependiendo de la fricción e inercia producidos por la carga. Por supuesto existe un intervalo de aceleración o desaceleración al cambiar el voltaje antes de alcanzar la velocidad constante al cual se le llama "tiempo de respuesta". La carga influye en el tiempo de respuesta y en la condición de salida constante, por lo que la señal de salida no estará determinada solo por la entrada; este tipo de servocontrol es de lazo abierto o directo.

El servocontrol no compensa los errores causados por disturbios externos que afectan al sistema. Para contrarrestar dichos disturbios se necesitan: un sensor que mida la respuesta de salida, un amplificador diferencial que calcule el error entre las respuestas obtenida y esperada y un punto que sume la señal de entrada con la señal amplificada del error para contrarrestar así, los disturbios.

Este sistema de servocontrol es llamado de lazo cerrado o retroalimentado ya que la misma señal de salida produce una señal que se retroalimenta a la entrada u que es ca-

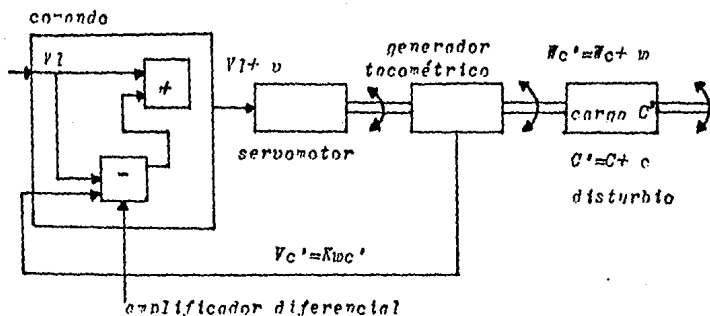


Fig. 7

-por de contrarrestar un disturbio no sin antes pasar varias veces por el punto de ajuste o "set point". A estas últimas variaciones producidas antes de quedar en el punto de ajuste se les llama oscilaciones y el tiempo de estas oscilaciones hasta llegar al equilibrio entrada-salida se llama también tiempo de respuesta.

Si el error entre la entrada y la salida es pequeño -- puede ser que no alcance el voltaje de disparo que necesita el actuador y por lo tanto, existe un rango de error en el cual el actuador no va a contrarrestarlo resultando afectada la exactitud.

Para aumentar la exactitud del sistema se debe amplificar la diferencia o error, entre la salida y el punto de ajuste y lograr así que con un error pequeño se obtenga una variación considerable de voltaje que lo contrarreste.

La amplificación de la señal de error también causa un

-yor oscilación debido a la sobrerreacción del sistema frente a pequeños disturbios lo cual, cuando las oscilaciones no se pueden eliminar, causa la inestabilidad del sistema.

A mayor oscilación, mayor exactitud pero menor estabilidad del sistema. Esto causa que sea difícil escoger entre una mayor exactitud o una mayor estabilidad lo cual es comunmente llamado "el dilema estabilidad-exactitud".

Debe notarse que la exactitud solo afecta en sistemas con variaciones de baja frecuencia y que, por el contrario, la estabilidad afecta sistemas con variaciones de altas frecuencias. Se debe tener bastante amplificación para obtener alta exactitud y poca amplificación para que el sistema sea estable, lo cual se logra manteniendo bajo el nivel de amplificación durante el período transitorio (alta frecuencia) y aumentando la amplificación al iniciar el período estable (baja frecuencia). Esto solo se puede llevar a cabo con un amplificador o un atenuador que varíe de acuerdo a la frecuencia llamado "red de compensación" o más comunmente conocido como integrador. Existe otro sistema que actúa de acuerdo a la rapidez de variación de la variable que se controla, si la variación es pronunciado el servosistema actúa rápidamente y si no, actúa con lentitud, este sistema se conoce como derivativo.

Por lo anterior podemos notar que el servosistema más completo y adaptable es el sistema proporcional-integral-derivativo, ya que puede tener al mismo tiempo exactitud, estabilidad u alta velocidad de respuesta.

2.4 SISTEMAS MOTORES MAS UTILIZADOS EN LOS ROBOTS

Los sistemas motores de un robot pueden ser neumáticos,

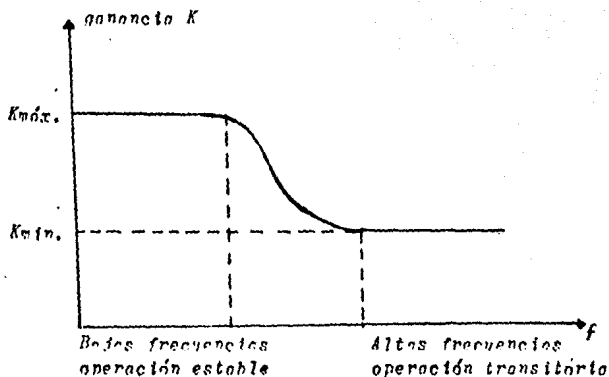


Fig. 8 .- Uso del amplificador en el cual la ganancia varía de acuerdo a la frecuencia de la señal amplificada.

hidráulicos, eléctricos o una combinación de estos.

Los sistemas neumáticos se encuentran en un 30% de los robots existentes, aunque la mayoría de estos son de secuencia limitada (topes y microinterruptores).

Su costo es bajo y requieren poco mantenimiento; generalmente son más fáciles de instalar ya que normalmente en las fábricas existen tuberías de aire a presión.

Estos sistemas por aire presurizado, a pesar de sus ventajas, no se utilizan mucho en los robots de generaciones más avanzadas ya que el aire, por su misma compresibilidad, impide tener un control directo y exacto sobre la velocidad, aceleración y posición del manipulador.

Los sistemas electromecánicos se usan en un 20% de los robots. Algunos sistemas de este tipo son los servomotores, los motores paso a paso, los motores de pulso, los motores

lineales y los motores de solenoide rotatorio.

Los sistemas más utilizados en robótica son los hidráulicos ya que los motores y actuadores hidráulicos son compactos y permiten al mismo tiempo elevados niveles de fuerza y potencia y un control muy exacto.

Dentro de estos sistemas existen actuadores y motores; los actuadores pueden ser de pistón o de paletas; los motores pueden ser de pistón, de engranes, de paletas o de bolas. Estos se deben escoger de acuerdo al trabajo que debe desempeñar el sistema: movimiento rotatorio o lineal, fuerza, velocidad, calidad funcional, confiabilidad, costo, etc. Siempre se debe escoger el sistema más simple y barato que cumpla con los requerimientos del trabajo.

El pistón hidráulico es un actuador simple, muy confiable que permite un buen control y que resulta barato. Si es necesario un mejor comportamiento dinámico se deben aumentar los pistones de tamaño o cambiar a motor hidráulico, el cual aprovecha muy bien la energía para alcanzar buen funcionamiento, pero es menos económico.

Los motores hidráulicos, al igual que los eléctricos - necesitan un sistema de transmisión generalmente de engranes para completar el sistema motor. Los motores hidráulicos para el control necesitan una válvula electro-neumática y los eléctricos en su lugar necesitan un amplificador de potencia para el servocontrol.

Mientras los motores hidráulicos y eléctricos son muy parecidos en su complejidad, los actuadores hidráulicos de pistón son mucho más simples y baratos y su única desventaja es la de poseer menor capacidad de resistencia a la vibración. Esto, en la mayoría de los robots, no tiene mucha

importancia ya que su frecuencia de resonancia no pasa de los 10 Hz. Los robots necesitan estructuras ligeras pero rígidas que puedan ser movidas por un actuador hidráulico de distón.

Algunas de las principales ventajas de los sistemas hidráulicos frente a los eléctricos son: su alta relación potencia/espacio, su economía para medianas y altas potencias, su mantenimiento no muy costoso y normalmente predecible y la posibilidad de usarlo sin peligro en atmósferas explosivas, como las existentes en los departamentos de pintura. Además de estas ventajas, los robots con sistemas hidráulicos pueden ser operados por un sistema mucho menor en capacidad que la máxima necesaria para algunas tareas gracias a su facilidad de almacenar energía.

Los robots de pequeña potencia y capacidad, generalmente son para usos menos ruidos y por lo tanto necesitan un menor factor de seguridad y sistemas de menor potencia, para lo cual los sistemas eléctricos son mucho más adecuados y fáciles de controlar.

El punto de transición entre los robots con sistemas eléctricos (de baja potencia) y los sistemas hidráulicos (de alta potencia) varía de acuerdo a su configuración u a su uso y eventualmente se encontrarán los puntos de transición óptimos para cada caso.

2.5 SENSORES INTERNOS Y EXTERNOS

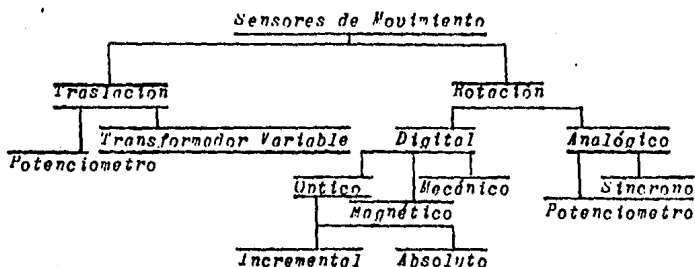
Los robots pueden estar equipados con dos tipos de sensores: los internos que establecen la configuración del robot respecto a su propia conjunto de ejes de coordenadas, - la fuerza que se está ejerciendo en el efector final o en -

el brazo, etc. y los externos que permiten a la máquina posicionarse de acuerdo al medio de trabajo.

a) **SENSORES INTERNOS**

Los sensores internos se encargan de medir principalmente: movimiento, velocidad, aceleración y tensión o fuerzas de compresión, torsión, etc.

Los movimientos que se deben medir pueden ser de traslación o de rotación y los sensores se dividen en:



SENSORES PARA MOVIMIENTO RECTILÍNEO .- Para sensar movimientos rectilíneos el contacto central del potenciometro se ajusta para que se mueva junto con la parte móvil del robot y así, midiendo el cambio de resistencia entre este y uno de los extremos del potenciometro podemos conocer por relación directa el desplazamiento real del componente del robot.

Existe otro tipo de sensor que consiste de dos embobinados filios dentro de los cuales se encuentra un núcleo magnético que al moverse junto con el robot varía las propiedades de acoplamiento entre las bobinas, haciendo variar la amplitud del voltaje inducido en las bobinas, con lo cual se puede medir el desplazamiento.

SENSORES PARA MOVIMIENTOS ANGULARES .-

+ **Potenciómetro Rotatorio.** - Este sistema de sensar los movimientos es el más utilizado dentro de los sistemas analógicos. Trabaja con el mismo principio de los potenciómetros rectilíneos y se puede alcanzar un alto grado de linealidad sobre todo en los de pista plástica. Para hacerlo continuo se colocan dos cursores diametralmente opuestos y un voltaje en los dos extremos del potenciómetro, obteniéndose así una señal triangular en el voltaje entre cursores a medida que rota el potenciómetro.

+ **Transformadores Variables.** - Su funcionamiento es similar el del transformador variable rectilíneo con la diferencia de que en este caso la bobina móvil se mueve angularmente dentro de una bobina mayor y al girar, el voltaje que la primera induce en la segunda varía de acuerdo al ángulo entre los ejes de una y de otra.

CODIFICADORES OPTICOS .- Son sensores angulares que usan sistema binario y que pueden ser incrementales o absolutos.

Los incrementales tienen un disco que se fija a la flecha a la cual se le debe medir la rotación y que tiene varias líneas o círculos por los que puede pasar la luz. Tiene una fuente luminosa y un sensor, ya sea un fotoconductor o una celda fotoeléctrica la cual convierte las señales ópticas en pulsos eléctricos. Normalmente se tienen dos salidas desfasadas $1/4$ de ciclo eléctrico para que el detector determine el sentido de rotación. Existe una tercera salida que produce un pulso por revolución.

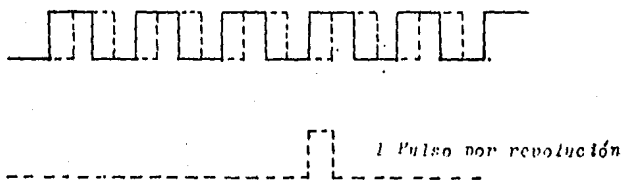


Fig. 9 .- Salidas típicas del codificador incremental.

Este tipo de sensor incremental se usa en sistemas de servocontrol donde no existe un "cero" fijo y donde se necesita alta velocidad.

Los codificadores Absolutos tienen un disco con áreas oscuras y claras de modo que en cada radio la sucesión de áreas produce la representación de un número binario según el ángulo entre la flecha y un origen conocido.

El diseño de los trazos de líneas oscuras y claras se realiza de forma tal que se obtenga una clave binaria "reflejada" en la cual el cambio de un número al siguiente está representado por un solo cambio de bit o estado de una salida. Estas salidas se conectan a un equipo de conversión, el cual las convierte a sistema binario normal que puede ser leído ya por un microprocesador.

Estos sistemas, debido a la falta de partes móviles de contacto, pueden usarse para velocidades altas de rotación sin que exista desgaste. La gran desventaja de estos sistemas es que pueden ser afectados por ruidos eléctricos, por lo que no deben utilizarse en sistemas con motores de pasos (stepping motors).

SENSORES DE VELOCIDAD. - Existen sensores para medir la velocidad de rotación y otros para la de traslación, pero - los sensores más utilizados son los de rotación, los cuales generalmente se colocan en los reductores de velocidad de - los motores.

Algunos sistemas utilizan el mismo sensor de movimiento tomando muestreos cada determinado tiempo los cuales se mandan al procesador para que calcule la velocidad, pero - tienen la desventaja de que a bajas velocidades tienen el - riesgo de inestabilidad y a altas velocidades hay bajo nivel de precisión.

Los sensores de velocidad más utilizados son los generadores tacométricos que pueden ser de corriente alterno o directa, siendo, el segundo más utilizado. Este tipo de sensor genera un voltaje proporcional a la velocidad de rotación y se escogen de acuerdo al rango de velocidades en el que es lineal, linealidad en este rango, e inercia.

SENSORES DE FUERZAS DE TRNSION, COMPRESION O TORSION. -

+ Medidores Extensiométricos. - Miden la deformación de una estructura mecánica para calcular con ella la -- fuerza ejercida. Consta de un conductor fino colocado en un soporte en el cual las fuerzas ejercidas -- producen una deformación que afecta la resistencia - eléctrica del conductor, cuya relación de variación es de acuerdo al material del conductor y a la longitud total de este. Esta variación de resistencia - se puede medir como una variación de voltaje o amperaje y se puede amplificar según el sistema.

+ Sensores Piezoeléctricos. - Se basan en las propiedades de algunos cristales, cuarzo principalmente, de

generar impulsos eléctricos al ejercerles una presión. Pueden sensor fuerzas en un eje o torsiones -- sobre el mismo eje.

SENSORES DE ACCELERACION. - Se usan para el control dinámico de robots industriales y pueden consistir en un derivador que calcule la aceleración con las señales de velocidad, teniendo la desventaja de disminuir la razón señal/ ruido del sensor.

Se utilizan también sensores de fuerza, los cuales miden la fuerza producida por la aceleración de una masa conocida determinando así la aceleración. Los sensores de servo retorno mantienen la masa en equilibrio mediante una fuerza electrodinámica o electromagnética y miden la corriente utilizada para determinar la aceleración, siendo los más precisos.

b) SENSORES EXTERNOS

La gran mayoría de los robots existentes no poseen sensores externos, pero para 1990 se espera que un 25% tenga sistemas de visión artificiales.

En algunos casos, sobre todo en trabajos de ensamble y manejo de materiales, el robot necesita además, de la información del trabajo y su descripción contenidas en el programa, de una información adicional acerca del ambiente externo de trabajo a lo largo de la realización de este. Esta información la debe obtener mediante sensores externos ya sean visuales, táctiles, de presión, de proximidad, etc.

SENSORES TÁCTILES. - Dentro de este tipo de sensores -- existen los "sensores binarios por contacto" que consisten simplemente en un microinterruptor el cual puede montarse en el brazo como protección contra obstáculos o en el efec-

-tor final para localizar las piezas que se van a manipular. Existen también los "sensores análogos individuales" - los cuales pueden tener tecnologías muy diversas según el montaje y las circunstancias, consistiendo en un sistema -- flexible con respuestas proporcionales a la fuerza local de compresión a la que este sometido.

Los sensores táctiles más sofisticados son los "sensores matriciales" formados al combinar varios sensores binarios o analógicos en forma de matriz, pudiendo, cada uno de estos, mandar información de fuerza o posición, la cual es integrada por el procesador para obtener información acerca de la forma de un objeto.

SENSORES DE FUERZA.- Estos sensores deben poder determinar la magnitud, dirección y posición de las fuerzas que el medio ambiente ejerce en la pieza que manipula el robot. Existen 3 sistemas principales para determinar estos parámetros: los 2 primeros son la "plataforma instrumentada" que se monta en la pieza y el "sensor de muñeca" que se monta - atrás del efector final; estos se basan en medidores extensiométricos o piezoeléctricos colocados en diferentes ejes para obtener, con la lectura de estos, la posición, dirección y magnitud de las fuerzas ejercidas en la pieza.

Otro sistema es el que mide las fuerzas de acoplamiento del motor o el torque en la flecha de cada uno de los motores que mueven al robot para que el procesador, con estos datos, determine las características de la fuerza ejercida y corrija sus movimientos de acuerdo a la situación del medio que le rodea.

SENSORES DE PROXIMIDAD.- Estos sensores pueden ser de ultrasonido, de rayos infrarrojos u de un nuevo sistema en

la etapa de pruebas consistente en "jets" de aire a presión. Estos sistemas deben ser capaces de detectar la existencia de un objeto en el medio de trabajo del robot y la distancia de este al sensor.

Los sensores ultrasónicos miden el tiempo entre la emisión y recepción de ondas ultrasónicas que rebotan en los objetos. Estos sensores no se pueden utilizar para distancias menores de 30 cm. Se utilizan comúnmente en robots móviles para evitar obstáculos.

Los sensores infrarrojos constan de un emisor (comúnmente de un diodo de rayos infrarrojos) que manda un rayo infrarrojo contra un objeto que lo refleja a un receptor -- (comúnmente un fototransistor). Para contrarrestar los efectos de la luz ambiental, la emisión de luz se modula y la que se recibe se filtra. Este sistema es muy pequeño por lo que puede montarse en el efector final.

Aunque estos sensores pueden detectar la presencia o ausencia de un objeto en el área de trabajo, su aplicación para medir distancias es muy compleja ya que la cantidad reflejada por un objeto cambia con la naturaleza de éste debido a que puede absorber mayor o menor cantidad de luz, y -- más aún, cambia con la orientación del objeto, produciéndose una ambigüedad de valores de distancia, para una misma respuesta.

SENSORES VISUALES. -- Los constructores de robots han invertido mucho en este tipo de sensores debido a la vasta información que el procesador puede obtener mediante éstos -- del medio de trabajo.

Sea cual sea el sistema utilizando debe comprender lo siguiente:

- 1) Uno o varios emisores señal ya sea naturales (objetos que reflejan la luz ambiental) o artificiales (flashes, lasers).
- 2) Uno o varios sensores que reciben estas señales (cámaras).
- 3) Conversión de estas señales para que la máquina lo pueda procesar (convertidor de señales ópticas en eléctricas).
- 4) Corrección de cualquier falla en la imagen.
- 5) Representación de imágenes para obtener información.
- 6) Obtención de la información requerida mediante la aplicación de leyes, algoritmos u otro tipo de criterio.
- 7) Etapa de Reconocimiento.- Se compara la información obtenida con las características almacenadas en memoria durante la fase de entrenamiento.

Entre los sensores usados podemos encontrar los tubos tipo "vidicon" los cuales tienen un mosaico que cambia la resistencia eléctrica proporcionalmente a la luz que recibe. Toda su superficie es barrida a velocidad constante por un haz de electrones el cual produce una corriente proporcional a la energía luminosa que recibe cada punto del mosaico.

Existe otro tipo de cámara llamada de "acoplamiento de carga" la cual, en lugar de tener un tubo al vacío con un mosaico fotosensible como el vidicon, tiene un elemento de estado sólido por lo que resiste más los golpes, es de menor peso y volumen y es más compatible con los sistemas de proceso. Consta de un arreglo matricial de hasta 300 o 500 -- puntos de elementos fotosensible compuestos por fototransistores y cuya salida es débil por lo que se debe de amplifi-

2.6 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control van de un simple aparato de grabación magnética para un robot de secuencia, hasta sistemas computacionales muy complejos para el control de robots de la 3a. generación.

Existen 2 tendencias: la primera es utilizar un control descentralizado en el que se use un microprocesador -- por función o por eje y la segunda con un control central -- en la que la unidad entera está controlada por un procesador central con gran capacidad de memoria.

Existen sistemas muy simples compuestos solamente de varios microinterruptores y limitadores mecánicos los cuales pueden fijarse a lo largo de los ejes en los que se mueve el robot. Mediante la colocación de estos interruptores y su conexión adecuada en el sistema de control del robot, se le puede predeterminar o programar la secuencia a seguir para ejecutar un determinado trabajo. Este tipo de control se llama "sistema de secuencia limitada" y es el primer sistema usado para el control de robots.

Los robots con este tipo de control son más económicos que los controlados por otros medios, pero tienen grandes desventajas que no les permiten tener la flexibilidad funcional que tienen los otros, constituyendo una automatización intermedia entre la rígida y la flexible.

Los sistemas realmente flexible son los controlados ya sea por uno o varios microprocesadores y varían mucho en sus sistemas de servocontrol, sus sistemas sensores internos y externos y en sus sistemas de control en sí.

Existen 2 sistemas principales de control de los cuales ya se habló en el capítulo I. Estos sistemas son el control punto a punto y el control de trayectoria.

Estos 2 sistemas difieren tanto en la forma de control por parte de la computadora como en la forma de programarle para que el robot ejecute una tarea determinada.

En los sistemas de control punto a punto el operador mueve al robot de un punto a otro, grabando cada coordenada en la memoria de la computadora. El movimiento del robot entre un punto y el siguiente lo define la computadora de acuerdo al programa general que se haya colocado en su memoria. Para trayectorias especiales que deba desempeñar el robot, el programador la subdivide en muchas trayectorias rectas pequeñas entre multitud de puntos. Estos puntos son almacenados en la memoria del robot y éste al ejecutarlos mueve el efector final a través de la trayectoria deseada.

Para el control de trayectoria continua el programador puede almacenar en la memoria del robot el desarrollo de una trayectoria curva ya sea por medio de un algoritmo directamente en el teclado de la computadora, o dirigiendo al robot mediante la botonera de control para que siga la trayectoria deseada y grabando esta trayectoria en la computadora o, en algunos robots con mecanismos sensores especiales, moviendo el efector final del robot directamente con la mano, al tiempo que la computadora registra y almacena los datos de la trayectoria constantemente, como sucede con los robots que se utilizan para pintar con pistola. Por supuesto que la computadora, por trabajar en sistema digital, no puede probar ni controlar la trayectoria del robot en forma totalmente "continua" y comúnmente lo hace con un sis

-tema interno de tiempo dado generalmente por la frecuencia de 60 ciclos/segundo de la fuente grabando toda la información con cinta magnética.

Existe otra característica que aumenta la flexibilidad del sistema de control de trayectoria continua, la cual consiste en la capacidad de grabar el movimiento a diferente velocidad de la de ejecución para facilitar la programación.

2.7 EFECTORES FINALES

Los efectores finales son los componentes mediante los cuales el robot realiza directamente el trabajo que se le asignó y debe de realizarlo sin dañar, ni dejar caer la pieza o herramienta que esté manipulando.

Siendo menos adaptables los efectores finales de un robot que las manos del hombre, estos deben ser escogidos o diseñados según el trabajo que realizará el robot aunque comúnmente un mismo tipo de efector final puede ser utilizado en varios trabajos relativos a un área de trabajo determinada.

Existen muchos tipos de efectores finales los cuales se deben escoger de acuerdo al tipo de trabajo u en gran parte, de acuerdo a las características del material que se este manejando. Los más utilizados son:

1) Manipuladores Mecánicos.- Dentro de los manipuladores manuales podemos encontrar muchos tipos según sus características de construcción y funcionamiento. Entre ellos están el de dedos autoalineables, el manipulador para piezas de diámetros variables, el manipulador estándar (muy económico), manipuladores especiales tipo chuck, etc. Para escoger el manipulador adecuado se debe de tomar en cuenta

si la pieza va a cambiar de dimensiones durante su proceso, el sistema matriz usado, que tan delicados son las piezas, la temperatura de la misma, su forma, etc.

2) *Sistemas de Vacío.* - Las "copos de vacío" para el manejo de materiales duros están hechas de un material elástico para hacer el sello contra la pieza y succionarla. La fuerza de sostenimiento de una copa de vacío se obtiene multiplicando el área efectiva por la diferencia de presión respecto a la atmosférica. Las copos de vacío se montan normalmente en un sistema con resortes para disminuir el tiempo de desaceleración y para compensar pequeñas variaciones de posición o altura de la pieza.

3) *Sistemas Magnéticos de Manipulación.* - Dentro de este tipo de manipulador podemos encontrar los de imán permanente o los electroimanes. Los primeros no necesitan fuente de voltaje directo, pero necesitan un sistema para soltar las piezas cuando se requiera. Los electroimanes tienen generalmente, un sistema de control el cual al soltar una pieza manda un pequeño pulso negativo de corriente para eliminar cualquier posible magnetismo residual en la pieza. Existen varios factores que se deben tomar en cuenta para decidir si el sistema es el correcto como la forma de la pieza (preferiblemente plana), peso (las líneas de flujo magnético deben ser suficientes para levantar el peso), temperatura (normalmente los diseños son hasta 300°F) tipo de superficie (limpia, seca, suave, plana) y la posición respecto al magneto (de preferencia justo bajo el magneto).

Herramientas: Existen muchos casos en los que el robot no va a manejar una pieza directamente, sino una herramienta para con ella hacer el trabajo.

En estos casos la herramienta se fija a la extremidad del robot ya sea definitivamente o con dispositivos para poderla montar u desmontar rpidamente.

Entre estas herramientas las ms usuales son la pistola soldadora por puntos, pistola soldadora de arco con proteccin de gas inerte, herramientas para cortar, fresar o esmerilar, pistola de pintura, etc.

C A P I T U L O I I I

*ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA APLICACION
INDUSTRIAL DE LOS ROBOTS*

3.1 APLICACIONES MAS USUALES DE LA ROBOTICA EN LA INDUSTRIA.

FUNDICION.- Dentro de este campo existen aplicaciones en fundiciones de metales no ferrosos (menor temperatura) - los cuales se funden y son forzados a presión hacia los moldes metálicos, dentro de los cuales se solidifica el metal. Los metales más utilizados son aleaciones de cobre, plomo, zinc, aluminio y magnesio.

Existen dos sistemas principales: el de cámara caliente y el de cámara fría. El primero consta de una cámara en la cual se encuentran el metal fundido u la bomba (cilindro-pistón) que lo presiona hacia dentro del molde. Este sistema se utiliza para metales cuyas temperaturas de fusión no afectan las partes y sellos de la bomba.

Para metales no ferrosos cuya temperatura de fusión es relativamente alta como el aluminio, el bronce u el magnesio se debe utilizar el sistema de cámara fría para no dañar la bomba. En este sistema el metal fundido se encuentra en un crisol y mediante una cuchara se alimenta a la bomba, lo cual implica un movimiento de material que generalmente debe hacer el operador.

Existen varias operaciones tediosas que generalmente - debe realizar el operador en una atmósfera calurosa, dañina para su salud, algunos de las cuales son peligrosas por trabajar con las piezas calientes y con prensas de altas presiones. Estas operaciones se enlistan a continuación y son factibles de ser realizadas por un robot:

- + Retirar pieza de molde.
- + Checar que la pieza este completa para que no haya - problemas al cerrar el molde (con microinterruptores o sensores infrarrojos).

+ Lubricar el molde (preferible con simple automatización).

+ Introducir la pieza en el tanque de enfriamiento.

+ Colocar la pieza en la prensa de corte para limpiarla de alimentadores y rebaba.

Estas operaciones son muy sencillas y el robot las puede hacer en menos tiempo del que necesita la máquina inyectora para: cerrar molde, inyectar metal, enfriar metal y abrir molde. Debido a lo anterior, si el robot se compra para dar servicio a una sola máquina, este no se estará aprovechando al 100% por los tiempos muertos a que es expuesto, pero aún así llega a obtener un aumento en el volumen de producción del 20% debido al ciclo constante de producción y una disminución de piezas defectuosas debido a que el ritmo constante de producción provoca constancia y uniformidad en la temperatura de las piezas.

Para obtener un mayor rendimiento del robot, este puede dar servicio a dos o más máquinas de manera de disminuir al mínimo los tiempos muertos y de ser posible tenerlo trabajando las 24 hrs. del día los 7 días de la semana.

Este proceso es factible de robotizarse debido a que las operaciones son simples y repetitivas, la posición y orientación de las piezas es precisa y constante y las modificaciones necesarias para robotizar un proceso ya instalado son mínimas. Además existen factores que hacen que este trabajo sea subhumano como la monotonía, el riesgo y el ambiente adverso en el que se debe realizar, lo cual fortalece la posibilidad de robotización.

Para procesos de fundición de metales con alta temperatura de fusión se utilizan moldes hechos de arena sílica --

los cuales se pueden hacer basados en un patrón de un metal no-ferroso o preferiblemente en patrones de cera formados - en un molde de acero con una vida útil de hasta 50000 patrones.

Los pasos principales del proceso son:

- + Moldeo del patrón de cera.
- + Recubrimiento del patrón con arena y aglutinantes.
- + Formado y secado del molde de arena por capas.
- + Evacuación de la cera por calor o vapor.
- + Horneado del molde.
- + Vaciado del metal fundido en el molde.
- + Extracción de la pieza de fundición.

El hecho de que las fluctuaciones en la compactación, peso, cantidad de aglutinantes, porcentaje de humedad, porosidad y demás factores del molde de arena que afectan directamente la calidad del producto final y que son muy grandes cuando los moldes son producidos por obreros, es una razón muy fuerte para pensar en robotizar el proceso, obteniendo así piezas de mayor calidad y más uniformes. Además existe el hecho de que el trabajo es aburrido y tedioso, con temperaturas elevadas, cargando piezas pesadas, todo lo cual no afecta a un robot diseñado para ello, el cual puede trabajar durante los tres turnos sin parar y cuyos costos de mantenimiento son muy bajos.

En fundiciones grandes el uso de los robots está restringido debido a que su alcance físico es mucho menor al espacio necesario para todos los procesos de moldado incluyendo las mesas vibratorias para compactación de moldes o para limpieza de fundiciones. En estos casos los robots se usan en el vaciado del metal al molde y para maquinado de -

las fundiciones.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS.— En lo referente a tratamientos térmicos los robots tienen gran campo de acción con muchas posibilidades debido a que se trabajan piezas a temperaturas elevadas las cuales pueden ser manejadas por ellos. Son trabajos de tomar y dejar piezas y los robots pueden estar sincronizados con el control automático del horno que fija los tiempos de aumento, sostenimiento y disminución de la temperatura.

Las variables principales que se manejan en procesos de tratamientos térmicos son el tiempo, la temperatura y el medio que circunda la pieza.

Debido a que normalmente se necesitan tiempos de espera muy grandes entre la carga y la descarga del horno, el robot puede ser asignado a otras tareas de la fábrica mientras tanto, y así aprovecharlo al máximo.

Estos procesos pueden ser intercalados con otros como soldadura, forja, etc. y pueden ser robotizados.

SOLDADURA.— Dentro de los procesos de soldadura existen dos cuyos características son muy favorables para poderse robotizar, estos son la soldadura por puntos o resistencia eléctrica y la soldadura por arco eléctrico.

El proceso de punteo o soldadura por resistencia eléctrica se utiliza para unir dos piezas (normalmente placas de poco espesor) en uno o varios puntos, calentando las 2 piezas parcialmente (en un solo punto) mediante el paso de un alto amperaje por el metal alcanzando su temperatura de fusión, al tiempo que se ejerce una presión en esa zona.

La resistencia eléctrica entre los electrodos es de acuerdo al material que se va a soldar y a la presión ejerci

-da por los mismos. La temperatura que alcanzan las zonas metálicas entre los electrodos se rigen por la resistencia entre electrodos, la corriente que fluye y el tiempo efectivo de soldadura, por lo que la presión, la corriente y el tiempo son los factores que se deben controlar en una soldadura por resistencia eléctrica y varían de acuerdo al material, espesor u área de unión principalmente.

Las pistolas de soldar son muy pesadas y difíciles de manejar debido a que los cables conductores deben de ser de un calibre muy alto por la cantidad de amperaje que deben conducir y los electrodos deben ser enfriados con agua para evitar su calentamiento excesivo. Debido a estos y a que los tiempos efectivos de soldadura son muy pequeños, la gran mayoría del tiempo empleado en realizar la soldadura de una caja, carrocería o cualquier otro producto, se invierte en el traslado de la pistola de soldar de un punto a otro. Además la distancia entre puntos que se obtiene no es uniforme debido al elemento humano involucrado en esta tarea agotadora y repetitiva.

Estos procesos son factibles de automatizarse; para líneas de producción cuyo producto se vaya a fabricar en serie y no se prevean variaciones de diseño en mucho tiempo lo más conveniente es hacer uso de la automatización rígida. Por el contrario para productos cuyo diseño se tenga previsto cambiar periódicamente o cuya línea de ensamble se use para varios productos, lo más conveniente es la robotización, precisamente por su flexibilidad.

Las líneas de ensamble de automóviles constituyen el área industrial en donde se utilizan el mayor número de robots y justamente para realizar las soldaduras por puntos

en los diferentes modelos de automóviles.

Normalmente una línea de soldadura está constituida -- por varios robots supervisados por una computadora que manda una señal de la llenada de una carcasa de un modelo determinado y así los robots cambian al programa que corresponda y realizan los movimientos necesarios para llevar a cabo su trabajo.

Existen algunos problemas cuando se trata de líneas de movimiento continuo ya que en estos los robots deben realizar su trabajo moviendo el brazo a la misma velocidad de la línea, por lo que frecuentemente se necesitan sistemas de memoria y de control auxiliares.

La soldadura por arco eléctrico se utiliza cuando es necesario unir varios componentes de grandes espesores o --- cuando la unión tiene que ser sellada y no permitir el paso de líquidos o gases.

En este tipo de soldadura el calor se genera por medio de un arco eléctrico entre los componentes a soldar y un electrodo. Existen varios tipos de soldadura por arco: el de electrodo recubierto en el cual el electrodo se coloca en un sujetador y va aportando material a la soldadura al tiempo que el recubrimiento se funde y forma una capa protectora sobre el cordón. Este es el tipo de soldadura más común y más utilizado, pero existen otros tipos más sofisticados con los cuales se pueden obtener soldaduras de mayor calidad utilizando el procedimiento adecuado. Entre estos están el de "arco metálico sumergido" en el cual el material de aporte se obtiene de un alambre que hace las veces de electrodo y que es alimentado automáticamente, estando el arco y la soldadura en sí sumergidos en fundente para protegerla

de la oxidación y el enfriamiento rápido; el de "arco metálico protegido por gas" el cual es similar al anterior, pero la soldadura es protegida por un gas inerte (argón o helio); el de "arco tungsteno protegido por gas", protegido igual que el anterior pero con un electrodo de tungsteno, el cual no aporta material a la soldadura, este se puede realizar con o sin material de aporte.

Los procesos de soldadura que utilizan gas inerte como protección, son usados generalmente para soldar aluminio, cobre, magnesio y aceros inoxidable.

El proceso automático más usado en las fábricas con líneas de producción es el MIG (Metal Inert Gas) o soldadura de arco metálico protegido con gas inerte, el cual necesita una fuente de energía con corriente directa, intensidades entre 100 y 200 amperes generalmente y voltajes entre 10 y 30 volts. Las variables que se controlan en este proceso son el voltaje, la intensidad de corriente, la velocidad de alimentación de alambre, la velocidad de soldado y la longitud de arco, el cual es iniciado al hacer corto-circuito entre electrodo y pieza.

Cuando el proceso es llevado a cabo por un soldador, éste debe mantener una longitud de arco y una velocidad uniformes que resulten en un cordón uniforme y de buena calidad. Obviamente este trabajo está sujeto a variaciones y errores humanos y las soldaduras no podrán tener una calidad completamente uniforme, sobre todo si tomamos en cuenta el cansancio que causa el estar trabajando con mascarillas para proteger los ojos de los rayos ultravioleta producidos por el arco, el humo y las partículas de metal fundido que molestan a los soldadores y las posiciones incómodas en las

que muchas veces tienen que trabajar.

El proceso de soldadura descrito anteriormente es factible de ser robotizado en muchos casos con las ventajas de obtener, una vez programado un buen procedimiento en el robot, soldaduras de alta calidad u uniformidad, teniendo la posibilidad también de trabajar los tres turnos continuamente sin que el medio afecte la productividad del robot.

El robot solo debe controlar la posición de la pistola de soldar y mantener una velocidad apropiada, necesitando - 5 grados de libertad y un elemento para acoplar la pistola al brazo del robot.

La secuencia, controlada por la unidad de control, es la siguiente:

- 1) Se alimenta gas inerte a la zona de soldadura.
- 2) Se alimenta cable y la fuente de poder opera.
- 3) La alimentación de alambre cesa consumiéndose este hasta cortarse el arco.
- 4) La fuente deja de operar al cortarse el arco.
- 5) Se corta el suministro de gas.

Existen dos métodos para programar un robot que ejecute soldaduras por arco eléctrico siguiendo una ruta determinada, la cual puede ser, en algunos casos, muy complicada.

La primer forma es la que se hace en un control de trayectoria continua, en la cual el programador guía el brazo del robot a través de toda la trayectoria y la posición y velocidad son registradas y almacenadas por la computadora.

La otra forma está basada en un control punto a punto en el cual el programador va a partir la ruta en varias partes, mientras más pequeñas mejor, y va a programar cada parte por separado.

Los robots más apropiados para esta aplicación son los que tienen sistemas motrices eléctricos ya que no se requiere mucha capacidad de carga ni de velocidad y son más económicos que los hidráulicos.

Existe una aplicación que requiere características muy similares a la soldadura por arco eléctrico; esta es el corte de metal por "jet de oxígeno" la cual constituye una aplicación muy factible de desarrollo dentro de la robótica.

PINTURA.— El proceso de pintura consiste en recubrir las superficies con una mezcla líquida que contiene pigmentos sólidos los cuales al secar forman una capa que sirve para decorar y/o proteger dicha superficie. Este proceso era muy tardado y constituía una actividad crítica dentro de la producción de automóviles y otros productos de línea que requerían de este proceso. Por esta razón se investigó mucho acerca de el proceso de pintar y los compuestos de las pinturas, al grado que en la actualidad las pinturas son de secado rápido y el proceso se realiza por medio de un spray de aire con partículas de pintura con lo cual se obtienen mejores acabados y secados más rápidos.

La operación se realiza mediante una pistola presurizada con aire y alimentada de pintura de un pequeño tanque en la misma pistola o de un tanque central mediante una manguera. La cantidad de pintura que sale se puede regular mediante una válvula de aguja, pero debe tener la viscosidad optima para la aspersión.

El operador, además de lo anterior, debe darle la velocidad adecuada, el ángulo y la distancia a la superficie mediante un movimiento evidentemente en los tres ejes de su mano.

Esta operación requiere de mucha práctica y aún el pintor más experimentado en una línea de producción no puede realizar exactamente los mismos movimientos para pintar piezas iguales, por lo que la producción no puede ser totalmente uniforme.

Un factor muy importante que ha impulsado la robotización de la pintura a spray además del tiempo de producción, es el ambiente adverso que tienen que enfrentar los pintores para desempeñar su trabajo. Para mantener una atmósfera libre de polvo y temperatura constante, las áreas de pintura deben ser lo más reducido y cerrado posible. Los solventes son tóxicos y producen una atmósfera contaminada para los pintores, a los cuales se les debe proporcionar sistemas de ventilación u equipos de protección costosos. Se ha llegado a la conclusión de que los niveles altos de ruido producidos por las boquillas de las pistolas causan daños irreversibles en los oídos de los operarios.

En la actualidad existen sistemas automáticos de pintura que consisten en maquinaria con sujetadores para las pistolas, con un movimiento reciprocante, capaces de cubrir entre un 70% y 80% de la superficie total, pero con un gasto mayor de pintura. Después de pasar por esta etapa las unidades pasan por la sección de acabado donde los operarios buscan y retocan los superficies que no fueron cubiertas.

Por todo lo anterior los sistemas automáticos de pintura actuales distan mucho de ser perfectos y en varias compañías de automóviles como la General Motors, Chrysler y la Ford en los Estados Unidos se hacen procesos experimentales de pintura robotizados con miras a que en un futuro cercano se roboticen los procesos reales de pintura de chasises en

sus principales fábricas.

Para el proceso de pintura-spray lo importante no son los puntos inicial y final, sino la trayectoria completa - que seguirá el efector final que dirige la pistola, por lo que en este caso es imperativo utilizar un robot con control continuo de trayectoria, el cual puede ser "enseñado" o programado por el movimiento directo de la mano de un pintor - experto, el cual es sensado y almacenado por la computadora, para después reproducirlo cuantas veces sea necesario.

Existen restricciones en cuanto a espacio debido a que los cuartos de pintura de las fábricas actuales tienen un ancho entre 15 y 17 pies y sería muy costoso cambiarlos por lo que el diseño de los robots se debe ajustar a este espacio.

Aunque el robot no puede ser dañado por la atmósfera - contaminada, debe estar diseñado de forma que se evite cualquier chispa eléctrica o choque de metales, ya que esto puede ocasionar una explosión. Generalmente los robots para este proceso se diseñan con 5 grados de libertad únicamente.

La robotización de este proceso tiene muchas ventajas, elimina el costo del equipo de protección, de la energía, - espacio y equipo para proporcionar aire fresco a los operadores, permite uniformidad y alta calidad en los productos, sustituye a los operarios en una tarea nociva para su salud y reduce costos directos de energía, materiales y mano de obra.

MAQUINADO.- Dentro de esta rama de la industria se producen piezas de gran precisión para lo cual se utilizan máquinas herramientas tales como el torno, la fresadora, las rectificadoras planas y cilíndricas, los cepillos, los ta-

-ladros y otros muchos tipos de maquinaria variantes de los anteriores.

Dentro de este sector de la industria, la tendencia, - como en la mayoría, es reducir el inventario en proceso, reducir costos directos e indirectos, aprovechar el máximo el capital-maquinaria y reducir al mínimo las piezas de rechazo mientras aumenta la calidad y uniformidad de la producción.

Anteriormente para lograr un avance en lo citado anteriormente, se instalaron sistemas con líneas continuas de producción dentro de las que las piezas pasaban de una operación a otra hasta su terminación. Estos sistemas tienen - dos problemas principales, el primero es que el tiempo de producción por pieza está regido por el tiempo de la operación más tardada de la línea y el segundo es su costo alto de adquisición e instalación u su rigidez productiva.

Esta es un área productiva ideal para el uso de los robots, ya que el trabajo es exclusivamente del tipo "tomar-dejar" y las piezas puestas en las máquinas-herramientas -- tienen posiciones definidas y constantes.

Los robots son compatibles por su forma de control con las máquinas-herramientas de control numérico y, en proyectos más avanzados de fábricas totalmente automatizadas que ya se están instalando, estos se conectan con sistemas computacionales CAD/CAM (Diseño y Manufactura auxiliados por computadora).

Para obtener el mayor provecho posible de cada robot, el industrial debe de mantener los tiempos improductivos del robot al mínimo dándole varias tareas, por ejemplo alimentar varias máquinas-herramientas. Es común en industrias au

-tomatizadas ver arreglos de tres o cuatro máquinas-herramientas alrededor de un robot que las carga y descarga y en ocasiones les cambia las herramientas de corte.

Existen otras características de los robots que los hacen muy adecuados para este proceso como su capacidad para alternar o interrumpir programas, por ejemplo para realizar inspecciones intermedias de calidad o para checar el filo de las herramientas, tiene además capacidad de moverse a través de rieles o vías linealmente con el fin de poder alimentar o "atender" a un número mayor de máquinas-herramientas del que se podría instalar a su alrededor.

Algunos robots poseen o se les puede instalar sistemas sensores para detectar si se rompe una herramienta o si las piezas salen defectuosas.

ESTIBAJE Y ALMACENAJE. - El estibaje y almacenaje dentro de la industria nació por la necesidad de acomodar las piezas en forma compacta y ordenada, muchas veces con una orientación invariable para ser usadas por sistemas automáticos posteriores.

Las características inherentes de los robots los convierten en los sistemas automáticos más adecuados para este uso, sobre todo en procesos donde se deben empacar y/o desempacar varios productos diferentes o varios tipos y tamaños de contenedores.

Para este trabajo se pueden utilizar robots de uso general con control punto a punto y con sistemas de memoria con cinta magnética ya que en algunas ocasiones deben memorizar un gran número de puntos donde deben de dejar o tomar las piezas.

En trabajos donde el robot debe de empacar diversos -

productos en un mismo contenedor, en su memoria queda almacenada la información de donde se encuentra cada pieza o producto. Debido a las diferentes variantes que pueden existir en este tipo de trabajo, se necesitan robots con un sistema de control bastante complejo, pero fácilmente pueden ser adaptados al medio de trabajo y ahorran mucho tiempo y costo de mano de obra directa por lo que se están difundiendo muy rápidamente en esta área de la producción.

3.2 FUTURAS APLICACIONES

Para definir las aplicaciones más viables de la robótica en un futuro cercano debemos primero definir las características o cualidades que podrán tener los robots a corto plazo o que ya tienen algunos robots experimentales en la actualidad. Entre estas características las principales son:

- 1) Sensores rudimentarios de visión.
- 2) Sensores táctiles.
- 3) Sistemas computacionales que interpreten las señales de los sensores de visión y tacto.
- 4) Movilidad.
- 5) Efectores finales multiusos.
- 6) Detector y diagnosticador interno de fallas.
- 7) Sistemas inherentes de seguridad.

Por supuesto a estos atributos se sumaría un factor de reposición u productividad que justifique económicamente su adquisición y mantenimiento.

Entre las aplicaciones que existirán para la robótica en poco tiempo gracias a los avances tecnológicos de esto - se encuentran:

+ Limpieza de Partes: La remoción de rebaba de piezas

- plásticas o metálicas necesita de un sistema sensor para localizar las rebabas, por lo que es una aplicación próxima para los robots de la 3a. generación.
- + Pintura automotriz sin necesidad de ningún retocador: Con esto se eliminaría los sistemas de protección para los operadores y los riesgos para la salud de estos. La General Motors está probando un sistema de pintura autónoma que involucre varios robots.
 - + Distribución de Empaques: Esta tarea podrá realizarse con robots supervisados por una computadora que dirigirá a los robots para hacer acomodos de gran densidad.
 - + Rapado de ovejas: Para este trabajo se está experimentando con sistemas sensores sofisticados que orienten al robot a llevarlo a cabo rápidamente y sin perjudicar al animal.
 - + Industrias de Servicios: Los robots en un futuro podrán ser usados por ejemplo para preparar hamburguesas y otro tipo de "comida rápida". Podrán usarse también para coleccionar la basura colocándolos en un camión conducido por una persona. El robot recogerá, vaciará y devolverá los contenedores vacíos a su lugar.
 - + Sirvientes en las casas: Con casas diseñadas para satisfacer las necesidades de sus habitantes a la vez que pueden ser mantenidas por un robot, éste podrá hacer la mayoría de los trabajos difíciles de la casa.
 - + Aplicación de la Robótica en Ensamble: La aplicación de los robots en los ensambles de productos de línea

es casi una realidad y constituye para la industria un gran avance en la trayectoria para lograr las fábricas totalmente automatizadas. En la actualidad varios ensambles se llevan a cabo mediante la automatización rígida, pero la mayoría utiliza mano de obra humana. Esto se debe a que el instalar los equipos de automatización rígida es muy costoso y tanto el proceso como el producto necesitan cumplir con varias características inherentes a la producción en masa.

Con los nuevos sistemas que se están experimentando en la robótica, se podrán utilizar robots en la mayoría de los procesos que requieren el ensamble de productos por lotes o producción "batch" como en las industrias automotriz, juguetera, electrónica y muchas otras.

3.3 FACTORES QUE JUSTIFICAN LA ROBOTIZACION DE UN PROCESO

Para que un proceso industrial sea factible de robotizarse, necesita cumplir con algunos factores que justifiquen esa inversión y ese desplazamiento de mano de obra.

Algunos factores son indispensables para poder robotizar un proceso y algunos otros impulsan este cambio y ayudan a que sea aceptado por la sociedad, pero funcionalmente no es indispensable que se cumplan.

a) FACTORES INDISPENSABLES.- Entre los factores indispensables que debe tener un proceso para poderse robotizar tenemos:

FUNCIONALES

+ Debe tratarse de tareas repetitivos, que puedan se-

-guir una secuencia determinada através de trayectorias preestablecidas.

+ La situación del medio no debe afectar la secuencia ni las trayectorias a menos que esta situación pueda ser determinada por sensores que alimenten información al procesador del robot.

+ Las tareas que se deban procesar deben poderse colocar en la misma posición con pequeñas variaciones de pendiente del proceso de que se trate y de los efectores finales del robot. Dentro de este punto se consideran como robotizables los procesos que cuentan con líneas continuas de producción como es el caso de la Industria Automotriz, en general, gracias a la capacidad de los robots de seguir el movimiento de las unidades a la vez que se cumplen las tareas asignadas a ellos.

+ Las tareas que deben realizarse deben ser procesos para los cuales ya existen diseños de robots, como las aplicaciones mencionados en la primera parte de este capítulo. Existen algunos procesos para los cuales no se han diseñado robots, pero que en su concepto son similares a las aplicaciones para las que ya existen diseños de estos por lo que con pequeñas modificaciones se pueden robotizar.

+ Las trayectorias a seguir en un proceso a robotizar deben de estar dentro del volumen de acción del robot que se va a utilizar; de no ser así debe de ser factible el dar movilidad a ese robot.

+ Debe de existir la factibilidad de que los robots se an diseñados para poder resistir las características del medio de trabajo y el trabajo en sí (altas o bajas temperaturas, ruido eléctrico, atmósfera corrosiva o inflama-

-ble, vibraciones, piezas calientes o de gran peso, etc.).

ECONOMICOS

+ El aumento en la productividad y en la calidad y la disminución de la mano de obra deben de justificar la inversión inicial necesaria para robotizar el proceso.

+ Los tiempos muertos del robot deben de poder ser mínimos en un proceso para que su tiempo de amortización sea corto.

+ Las relaciones del tiempo de mantenimiento entre el tiempo de trabajo continuo u el tiempo de programación entre el tiempo de trabajo continuo deben ser muy pequeñas para no afectar sensiblemente la productividad ni el ahorro de mano de obra directa.

+ La cantidad de piezas a producir debe justificar económicamente la inversión inicial del robot y la inversión de tiempo de personal calificado para programar el robot y realizar las pruebas necesarias.

+ Aunque la cantidad de productos iguales es lo que va a justificar la robotización de un proceso, debe de tratarse de una producción "batch" o por lotes, ya que de no ser así se trataría de productos de línea que no van a cambiar en muchos años para lo cual conviene más la automatización rígida.

Dentro de este punto podemos considerar como procesos factibles de robotizarse aquellos que sirven para producir unidades diferentes, pero cuya secuencia y constitución general son similares entre sí; en estos casos se podría robotizar una línea de producción y mediante esa línea construir los diferentes productos tan solo cambiando los programas de la maquinaria al empujar la producción del lote de -

cada producto diferente. Con lo anterior el empresario puede ahorrarse mucha maquinaria y mucho espacio al tiempo que obtiene calidad y uniformidad en los productos y es capaz de producir los diferentes tipos de productos que necesita para abarcar mayor mercado.

b) FACTORES NO INDISPENSABLES

FUNCIONALES I SOCIALES

+ Los procesos de fabricación con aspectos que van en contra de la integridad o salud de los trabajadores son más factibles de robotizarse ya que su robotización es aprobada y en algunos casos hasta propuesta por la sociedad, el gobierno y los mismos trabajadores. Por ejemplo, los procesos a altas temperaturas, con atmósferas tóxicas, con peligros para la salud del trabajador, con alto nivel de ruido o procesos monótonos y repetitivos cumplen con este factor.

+ Procesos ya establecidos cuya robotización requiera pocos cambios en las instalaciones u en el sistema general de la empresa.

ECONÓMICOS

+ Procesos que no requieran mucha inversión inicial para su robotización.

+ La robotización del proceso puede disminuir el nivel de inventarios de materia prima y de materia en proceso.

C A P I T U L O I V

**IMPACTO SOCIO ECONOMICO DE LA
ROBOTIZACION EN LA INDUSTRIA**

4.1 EFECTOS SOCIO-ECONOMICOS MUNDIALES DE LA ROBOTIZACION

La robótica, aunque lleva un tiempo relativamente corto dentro del ámbito industrial mundial, ya ha tenido efectos muy trascendentales de tipo social y de tipo económico constituyéndose en la piedra angular de la llamada alta tecnología la cual será la base de las futuras fábricas totalmente automatizadas.

Existen en la robotización de los procesos industriales factores a favor y factores en contra dentro del punto de vista social, ya que por medio de esta nueva tecnología se pueden eliminar trabajos llamados algunas veces infrahumanos por representar un peligro para la salud física o mental de los individuos que lo desarrollan en la actualidad.

Este tipo de trabajos son los que por su naturaleza se deben desarrollar dentro de atmósferas nocivas para la salud del obrero como en minas, talleres de pintura, fundiciones, etc. o que representan riesgos fuertes para el trabajador como en prensas, manejo de materiales pesados o a altas temperaturas. Constituyen también trabajos infrahumanos los que por su naturaleza son monótonos y repetitivos y no representen ningún estímulo para la superación del obrero.

Existen también factores sociales contra la robotización, ya que si bien pueden llegarse a eliminar trabajos monótonos o peligrosos, estos son desarrollados por gente que necesita de estos trabajos para subsistir y que, si el movimiento tecnológico actual no se lleva a cabo con la debida precaución en el aspecto económico-social por parte de los empresarios, el desempleo mundial puede aumentar sensiblemente causando desequilibrios sociales y violencia.

Según un estudio reciente de la Rand Corporation, en -

Estados Unidos el porcentaje de trabajadores industriales - sobre el total de la población económicamente activa, que - en 1947 era del 30%, pasó al 22% en 1980 y se prevé que, a causa de la automatización flexible, para el año 2000 esa - cifra descienda a tan solo el 2%. Por otro lado, se estima que el mercado de robots experimentará un crecimiento anual comprendido entre el 25% y el 35%, en términos monetarios.

Desde la primera instalación de un robot industrial en 1961 hasta nuestros días, el interés mundial por la Robótica ha ido en aumento. En países como Inglaterra, Francia, I talia, Suecia, Alemania, Japón y Estados Unidos se han hecho esfuerzos tanto privados como gubernamentales para impulsar la tecnología de robots y para estimular su uso en - los procesos de manufactura aumentando así la productividad y calidad de productos dentro de cada país colocándolos o - manteniéndolos dentro del mercado internacional.

Cuando una empresa decide robotizar su planta de producción, estará persiguiendo como objetivo un aumento en la velocidad de trabajo, mayor flexibilidad en el empleo de la máquina y una homogeneización de la calidad. En resumen, -- con la robótica se pretende incrementar la rentabilidad de los inversiones, racionalizar los recursos, humanizar el -- trabajo y aumentar la productividad elevando así la competi- tividad. Este último factor, ya en la actualidad está te- niendo efectos a nivel mundial un que los productos realiza- dos a partir de la automatización flexible están desplazan- do, dentro del mercado internacional, a productos hechos en forma tradicional por su alta calidad, homogeneidad y econo- mía.

Aunado a este efecto en el mercado mundial, nació re-

-cientemente una tendencia de las empresas transnacionales de invertir capital en la automatización flexible de sus plantas matrices, en lugar de invertirlo en instalar subsidiarias en los países en desarrollo donde la mano de obra es barata.

Debido a estas razones es imprescindible que los gobiernos y la iniciativa privada de los países en desarrollo realicen un esfuerzo conjunto con miras a invertir en investigaciones tecnológicas, sociales u económicas acerca de la robotización industrial para implantarla en los productos que tengan competencia en el mercado mundial y de esta forma salir de la espiral descapitalizadora en la cual están la mayoría de estos países, pero en todo momento teniendo cuidado de no desencadenar el desempleo u la violencia tomando el ejemplo de Japón, país que ha conseguido aumentar enormemente su productividad y competitividad internacional con la robótica y la alta tecnología en general manteniendo el nivel de desempleo muy bajo.

4.2 POSIBLE IMPACTO SOCIAL DE LA ROBOTIZACIÓN INDUSTRIAL MEXICANA

En el caso de México, debido a su situación social, económica y política, la posibilidad de entrar de lleno a competir internacionalmente con industrias altamente automatizadas es muy remota, pero es necesario que las diferentes industrias inviertan en robotizar los procesos más viables que las puedan mantener o introducir en la competencia internacional.

Esto se hace más notorio y apremiante al observar las tendencias actuales de los accionistas de países industria-

-lizados de no invertir en países en desarrollo y el hecho de que México entre de lleno al Mercado Internacional, eliminando el proteccionismo interno y viéndose obligado a aumentar su productividad, calidad y homogeneidad para salir adelante.

Los industriales y el gobierno, al decidirse a invertir en automatización flexible, deben de regirse por políticas que permitan el desarrollo de la productividad y por ende de la industria sin afectar el empleo dentro del país, capacitando a los trabajadores para que puedan desarrollar ahora tareas diferentes más humanas y más diversas en lugar de las que ahora serán ejecutadas por los robots y las máquinas automáticas.

El estado actual del país en el ámbito económico y tecnológico hace suponer que un cambio en los métodos productivos significaría un gran esfuerzo y un gran reto, pero al mismo tiempo es una necesidad apremiante ya que en el país, desde hace muchos años, tanto el sector público como el privado están trabajando con una balanza negativa al estar importando mucho más de lo que se está exportando, y la única forma de ser competitivos a nivel mundial es elevando nuestra productividad y la calidad de nuestros productos.

Según varios estudios, la economía mundial tiene un comportamiento cíclico en el cual existen puntos mínimos y máximos. En la actualidad estamos atravesando por una recesión económica a nivel mundial que ha provocado, al igual que las anteriores, cambios bruscos en los sistemas productivos, tratándose en esta ocasión de la automatización flexible, un cambio tecnológico que aumenta la productividad, calidad y uniformidad de la producción y combate los altos --

costos de la mano de obra no calificada.

De lo anterior podemos concluir que los avances tecnológicos que se están llevando a cabo actualmente tendrán -- consecuencias muy importantes a nivel mundial y que los países en desarrollo como México deberán invertir en alta tecnología y cambiar las formas de producción de los procesos más idóneos para utilizar la automatización flexible, como por ejemplo todos los procesos que requieran movimientos u funciones repetitivas u que trabajen por lotes de productos.

Estos cambios al principio podrán generar descontento y temor por parte de la gente que será desplazada por los robots, pero esta gente podrá ser capacitada para desempeñar otras funciones que no puedan ser realizadas por los robots. Además debemos entender que al mismo tiempo se generaron empleos debido a que las industrias necesitaran gente -- que supervise, programe realice el mantenimiento necesario de los robots; al ser más productivas las empresas y poder tener productos de exportación, atraerán divisos al país y podrán expandirse, generando más empleos. Lo más importante es que a largo plazo, el tratar de mantener las formas de -- producción lo más eficientes posibles es la única oportunidad que tenemos de seguir desarrollandonos y salir de la es--piral de descapitalización en la cual, ya en la actualidad, nos encontramos.

4.2 ANALISIS ECONOMICO DE LA ROBOTIZACION INDUSTRIAL

La alta tecnología, cuyo punto central son la robótica y la computación, tiene muchas ventajas sobre otros métodos de producción menos sofisticados como la automatización rígida o la producción llamada "artesanal" en la cual se nece

-sita gente con mucha experiencia en los trabajos que desempeña, y la calidad de estos varía y es afectada por el cansancio, los problemas u la forma de pensar de los trabajadores.

Se han realizado varios análisis económicos acerca de la implantación de robots en plantas industriales y se han obtenido las siguientes conclusiones:

- 1) Un robot en promedio puede desplazar o hacer el trabajo de entre 2 y 5 trabajadores.
- 2) Los gastos de energía y mantenimiento son en promedio menores del 10% de los salarios que la compañía deja de pagar por ese trabajo.
- 3) Los robots son capaces de trabajar las 24 hrs. del día, los 7 días de la semana, necesitando solo paros programados para mantenimiento preventivo.
- 4) La inversión en automatización flexible, si es bien planeada y aprovechada, generalmente se paga en menos de un año.

Todos estos puntos son aspectos de un análisis microeconómico, pero el aumento de productividad, calidad y uniformidad en los productos en los que interviene la automatización flexible, tiene consecuencias en la macroeconomía y en la competencia comercial a nivel mundial, ya que las compañías y en general los países que fomenten la inversión en automatización flexible serán en un futuro cercano los que ocupen los primeros lugares en el mercado internacional y los que, a causa de ello, puedan tener una economía más fuerte y un nivel de vida más alto.

Lo anteriormente citado se puede demostrar y complementar mediante un sencillo análisis económico del período de

reembolso o recuperación de la inversión, el cual es uno de los estudios más importantes que deben hacer las empresas - al comparar varias alternativas de inversión.

El análisis que a continuación se estudiará fue realizado por una empresa americana antes de decidir invertir en la robotización de sus instalaciones.

La empresa gasta 24,000 dolares anuales en salarios y otras prestaciones para un operador semicalificado cuyos -- funciones podrían ser realizadas por un robot. Suponiendo, para simplificar el análisis, que el robot trabaja al mismo ritmo que el operador tendremos los siguientes resultados:

El robot necesitará de una inversión inicial de 55,000 dolares y su mantenimiento, según estudios prácticos, sería de 5000 dolares. El robot podrá trabajar más de un turno y los 7 días de la semana. Siendo muy moderados en nuestro -- estudio podemos suponer, debido a lo anterior, que el robot será capaz de reemplazar por lo menos a dos operadores y -- que su vida útil será de más de 8 años.

La fórmula para calcular el período de reembolso es:

$$P = I / (L-K)$$

siendo: I=inversión (55,000)

L=costo anual reemplazado por el robot (2x24000)

K=costo anual de mantenimiento del robot (5,000)

$$P = (55,000) / ((2 \times 24,000) - 5,000)$$

$$P = 1.28 \text{ años}$$

El período de reembolso sería de 1.28 años, pero siendo más realistas veríamos que normalmente este lapso es menor de un año debido a que en realidad la producción aumen-

-ta y la cantidad de piezas defectuosas disminuye, disminuyendo así los costos indirectos de la empresa; además, los robots que se instalan no suplen solo a un operario, sino a varios y se aprovechan al máximo trabajando los 3 turnos y los 7 días de la semana.

Este análisis nos podría parecer engañoso tratándose de México porque la mano de obra semicalificada es más barata, pero también se ha comprobado que es más ineficiente y descuidada por lo que en el análisis económico habríamos de considerar más los ahorros, debido al aumento en la productividad y la disminución de piezas defectuosas.

Además debemos recalcar que, aunque las ventajas de la robotización dentro de la microeconomía son muy grandes, su influencia es todavía más importante dentro de la macroeconomía ya que aumenta la competitividad del país a nivel internacional, lo cual es primordial en esta época de crisis.

4.4 POSIBILIDADES MAS VIABLES DE ROBOTIZACION EN MEXICO

La industria pública y privada al igual que el gobierno de México están tratando de frenar la espiral de descapitalización en la que México está inmerso, y la única forma de lograrlo es aumentando la productividad y calidad de las industrias aumentando así la competitividad. Esto se hace más apremiante debido a la fuerte crisis económica actual - por lo que atraviesa el país u al reciente ingreso al GATT (Acuerdo General sobre Comercio y Aranceles) lo cual elimina el proteccionismo arancelario frente al mercado exterior.

Claro está que no todos los productos ni los procesos son factibles de robotizarse, pero todos aquellos que se trabajan en batch (o lotes) y que requieran movimientos o -

funciones repetitivas son factibles de robotizarse, sobre todo si constituyen un peligro inherente para la salud física o mental de los trabajadores.

Existen en México varias empresas que, habiendo percibido las consecuencias a nivel mundial de la actual crisis económica y las posibilidades que otorga la robotización, - han implantado la automatización flexible o están en vías de hacerlo.

Como ejemplo podemos citar a la empresa AHSA, la cual cuenta con equipo de avanzada tecnología y que dentro de poco mejorará su producción de pistones por medio de robots. Según el propio director general de dicha empresa, el Sr. - Jiménez Ruiz, tomaron la decisión de robotizar la planta debido a que, para exportar directamente a las plantas matrices de la Ford y la Chrysler en Estados Unidos debían aumentar su productividad, calidad y uniformidad ya que serían sometidos a un control de calidad estadístico muy severo, y la única forma de lograrlo era apoyarse en la alta tecnología. Los robots trabajarán conjuntamente con máquinas herramientas de control numérico a las cuales alimentarán de materia prima para obtener los pistones, los cuales pasarán a chequeo automático y posteriormente a empaque y almacén.

Otras empresas que actualmente están invirtiendo en la robotización de sus plantas son:

+ La IBM en su fábrica de Guadalajara, Jal. está modificando sus líneas de ensamble para implementar la automatización flexible en el armado de las computadoras personales (PC) las cuales, en un 90% serán de exportación.

+ La Ford en su planta de Cuautitlán, Edo. de México,

tiene actualmente instalados varios robots en las líneas de ensamble y pintura.

+ La General Motors y la Chrysler están en vías de robotizar los puntos más críticos de sus líneas de ensamble y así aumentar la flexibilidad y productividad de sus instalaciones.

Kristen muchas otras empresas que están estudiando las posibilidades de robotizar los procesos más críticos, repetitivos y/o que constituyan un peligro para la salud mental o física de los operadores.

Como se puede notar, existe ya una tendencia, sobre todo de las empresas transnacionales cuyos productos son principalmente para exportación, a invertir en alta tecnología para procesos repetitivos que manejen productos por lotes o en producción *Batch* como por ejemplo las plantas ensambladoras de circuitos y productos electrónicos y en general empresas cuyos productos se fabrican en serie y que al terminar el lote puedan modificar algunas de sus características o cambiar el producto por completo gracias a la flexibilidad de la computadora.

C O N C L U S I O N S

CONCLUSIONES

Podemos concluir que la alta tecnología basada principalmente en la flexibilidad inherente de las computadoras, ha tomado al robot industrial, definido como un manipulador multifuncional, reprogramable, fijo o móvil y diseñado para ejecutar las más diversas tareas dirigidas por uno o varios microprocesadores y que puede operar por sí solo o en combinación con otras máquinas controladas por computadora, como la piedra angular para la llamada automatización flexible, la cual justifica su alta inversión inicial con la posibilidad de permitir corridos de producción por lotes de una variedad de artículos con un mínimo de tiempo y dinero en el cambio de producción entre uno y otro y con un aumento muy grande en la productividad, calidad y uniformidad.

Refiriéndonos a la macroeconomía o al estudio económico a nivel mundial, la robótica ha tenido en la actualidad una consecuencia muy importante que es la de cambiar la filosofía de inversión de las empresas transnacionales. Hace algunos años la tendencia principal de estas empresas era la de invertir en plantas subsidiarias dentro de los países en desarrollo para aprovechar así la mano de obra barata. Pero desde la aparición de los primeros robots industriales esta tendencia ha ido disminuyendo rápidamente y ahora las empresas prefieren invertir en automatización flexible para sus plantas matrices.

Los países industrializados que han tenido un mayor desarrollo en cuanto a robotización se refieren son Japón, Estados Unidos, Alemania Occidental, Suecia y Francia.

De estos, el que mejor provecho ha sacado y el que se

ha adaptado mejor a los cambios que implica la robotización es el Japón un que ha sabido implantar la automatización -- flexible en sus fábricas sin provocar el desempleo, capacitando u reacomodando a su gente en puestos más creativos.

Existen varios tipos de robots y varias clasificaciones según sus tipos de movimiento, grados de libertad, efectores finales, sistemas sensores internos y externos, la -- geometría del brazo y sus sistemas motrices, pero las clasificaciones más importantes son de acuerdo a sus sistemas de control y los usos para los que están destinados.

Existen varios institutos de investigación de robótica en el mundo, los cuales hacen sus clasificaciones propias -- de los robots de acuerdo principalmente a sus sistemas de -- control, sensores u a su flexibilidad. Las clasificaciones reconocidos mundialmente son los realizadas por la JIRA (A sociación Japonesa de Robots Industriales), la IIA (I nstituto Americano de Robótica), y la AFRI (A sociación Francesa de Robótica Industrial).

Existe también otra forma importante de clasificación por generaciones de robots de acuerdo a los adelantos tecnológicos y a las capacidades de estos. En la actualidad los robots de la 1a. y 2a. generaciones son los que están ya -- trabajando en las industrias y se caracterizan por ser re-programables pero tener unos sistemas sensores externos muy limitados. Los robots de la 3a. generación en cambio, tienen sistemas sensores externos muy sofisticados que permiten una retroalimentación y toma de decisiones autónomas de acuerdo a los cambios en el medio de trabajo. Este tipo de robots están en la etapa de prueba, pero se espera que pronto se empiecen a instalar y utilizar no solo en la industri

—a sino también en el campo, en el espacio, en el hogar y en muchos otros medios donde estos puedan desarrollar sus funciones.

Los robots tienen varios sistemas de control de los cuales los dos más importantes tienen como elementos principales uno o varios microprocesadores y algunos sensores internos que retroalimentan a estos para determinar la posición del efector final. Estos sistemas son el control punto a punto y el control de trayectoria continua y ambos son usados para diversas aplicaciones.

Los procesos más factibles para robotizarse son aquellos que presentan las siguientes características:

- + Procesos repetitivos que puedan seguir una secuencia fija.
- + El medio no debe influir en la secuencia a seguir — por el robot o los cambios deben poder ser sentidos por éste para modificar la secuencia.
- + Las piezas que van a ser manipuladas por el robot deben de tener una forma de posicionarse de tal manera que los efectores finales de este no tengan dificultad para tomarla y orientarla debidamente.
- + Las trayectorias a seguir por la pieza deben estar — dentro del volumen de acción del robot o deben existir maneras factibles de lograr trasladarla del punto inicial al punto final de cada proceso.
- + El medio de trabajo debe ser lo suficientemente favorable para no afectar el funcionamiento del robot — (temperatura, atmósferas explosivas o corrosivas, ruido eléctrico, etc.).
- + Económicamente el aumento en productividad, calidad

y uniformidad y la disminución de los costos directos e indirectos deben justificar la fuerte inversión inicial.

+ La producción debe ser masiva o por lotes (Batch) - para que la implantación de la automatización flexible se justifique.

+ Existen además factores no indispensables para la -- robotización, pero que ayudan a que el cambio sea aceptado por el gobierno, la sociedad y los mismos -- trabajadores, como el hecho de que se trate de procesos con peligros inherentes para la salud de los trabajadores o trabajos repetitivos u monótonos.

Actualmente existen en el mundo muchos autómatas trabajando en las industrias y las aplicaciones más importantes para estos son en pintura, soldadura (por puntos y eléctrica), ensamble, estibaje, embalaje, alimentación de máquinas herramientas, fundición, inyección de metales de bajo punto de fusión y de plásticos u en tratamientos térmicos.

La robótica a nivel mundial es un adelanto tecnológico que si bien puede mejorar el nivel de vida en general y aumentar la productividad, también puede, si los investigadores, empresarios u gobiernos no planean detenida y acertadamente la implantación paulatina de los autómatas en la industria, traer consecuencias funestas, aumentando el desempleo en todo el mundo y creando diferencias aún mayores entre los países desarrollados y el resto del mundo, causando así desequilibrios sociales u políticos que irremediablemente terminarían en la violencia.

Debido a lo anterior México, como país en desarrollo - dotado de vastos recursos naturales u humanos, no debe ce-

-errar los ojos frente a la robotización, ya que esta es una realidad mundial, al contrario, debe de estudiar e investigar cuales son los procesos y las industrias en México que convendría robotizar de acuerdo a los puntos anteriormente citados y sobre todo cual sería la manera de hacerlo para capacitar a la gente que sería reemplazado por los robots y ubicarla en puestos más creativos y más productivos para -- que, al mismo tiempo que México en general se hace más productivo y competitivo a nivel internacional, las industrias crezcan y se fortalezcan aumentando así el número de empleos y equilibrando la balanza exportación/importación que en estos momentos tiene al país inmerso en la tan citada espiral de descapitalización.

Como ya se ha mencionado anteriormente existen en México industrias que se han dado cuenta de la importancia de -- estos avances tecnológicos y han comenzado a implantar la -- robotización en sus plantas industriales o están estudiando la mejor forma de hacerlo. Los estudios realizados con respecto a cuáles son los procesos o las industrias en México más viables para robotizarse, indican que las industrias que manejan productos de línea por lotes y que tienen oportunidad de entrar a competir en el mercado internacional o a maquillar productos para el extranjero como las industrias automotrices, electrónicas o ensambladoras diversas son las -- que presentan mayor factibilidad para adoptar la automatización flexible.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- 1) Philippe Coiffet & Michel Chironse, AN INTRODUCTION TO ROBOT TECHNOLOGY, N.Y., E.U.A., Ed Mc Graw-Hill, 1982.
- 2) Edward Kafrisen & Mark Stephans, INDUSTRIAL ROBOTS AND ROBOTICS, Virginia, E.U.A., Ed. Heston, 1984.
- 3) Joseph F. Engelberger, ROBOTICS IN PRACTICE, E.U.A., Ed. ANACOM, 1980.
- 4) John M. Holland, BASIC ROBOTICS CONCEPTS, E.U.A., Howard Inc., 1983.
- 5) Robert U. Ayres, ROBOTICS, APPLICATIONS AND SOCIAL IMPLICATIONS, E.U.A., Hallinger Publishing Co., 1983.
- 6) MECHANICAL ENGINEERING, E.U.A., Vol 107/No. 1, Enero --- 1985, ASME.
- 7) INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA, México, D.F., ---- Vol 7/No. 109, Octubre 1985, CONACYT.
- 8) CIENCIA Y DESARROLLO, México, D.F., Año I/No. 59, Nov/Dic. 1984, CONACYT.