



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

3

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ARAGÓN"

**"La robótica y su aplicación
industrial".**

275765

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
ÁREA INDUSTRIAL

P R E S E N T A :
JULIÁN ALCÁNTARA HERNÁNDEZ

ASESOR: ING. IVÁN MUÑOZ SOLÍS

San Juan de Aragón, Edo. de México, enero del 2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Sabiendo que jamás existirá una manera de agradecer una vida de lucha, sacrificios y esfuerzos constantes. Solo espero que sepan que este logro también es suyo.

Gracias por ser como han sido conmigo y por su gran apoyo, ya que en cada decisión siempre están a mi lado como amigos y como unos verdaderos padres.

A mi esposa Irene y a mi hijo Rodrigo. Por su amor, apoyo y comprensión en todo momento.

A mis hermanos y familiares; en especial a tí Jesús que a pesar de vivir momentos difíciles siempre has representado un apoyo incondicional.

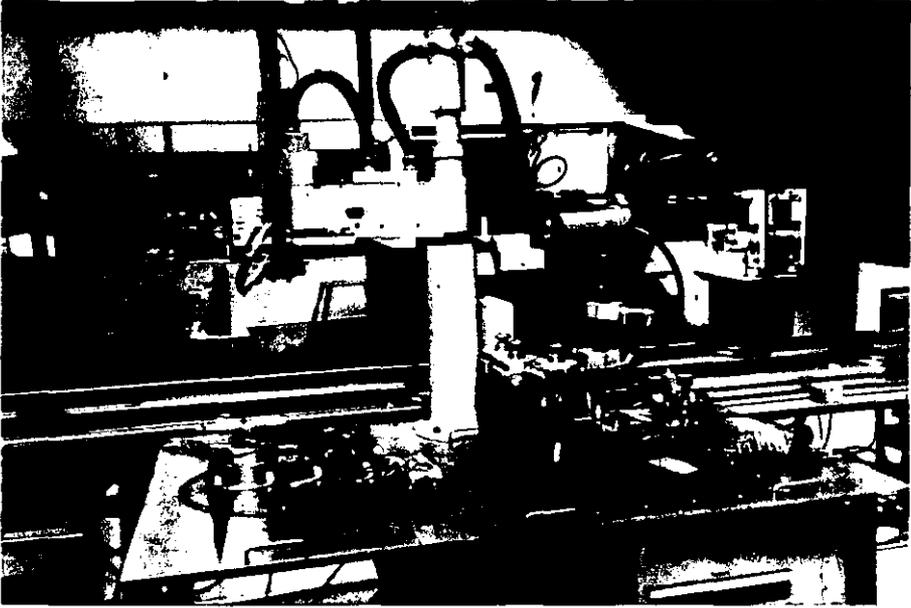
Gracias Adrianita.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a los Ingenieros Iván Muñoz Solís, Alfredo Velasco, Ulises Mercado, Jesús Nuñez y José Luis García por apoyarme para lograr una de las metas más preciadas de mi vida: mi formación profesional.

A mis amigos: Israel S., Silvio V., Alejandro y a todas aquellas personas que creyeron en mí, y que de alguna forma contribuyeron en la realización de esta obra.

Porque la amistad es un tesoro incalculable.

GRACIAS.



La robótica y su aplicación industrial

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
I. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA	
1.1 Introducción	6
1.2 Definición	8
1.3 Historia de la robótica	8
1.4 Automatización y robótica	16
1.5 El mercado de la robótica y sus perspectivas	18
II. ANATOMÍA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ROBOTS	
2.1 Anatomía de los robots	21
2.1.1 Cuatro configuraciones de robots comunes	21
2.2 Partes constitutivas y elementos de trabajo	24
2.3 Elementos de mando-actuadores	28
2.3.1 Tipos de sistema impulsión	29
2.4 Los sensores como elementos de señalización	30
2.4.1 Características deseables de los sensores	31
2.4.2 Tipos de sensores	33
2.4.3 Sensores utilizados en las celdas de trabajo del robot	34
2.4.4 Usos de sensores en robótica	36
2.5 Los elementos de transmisiones	38
2.5.1 Forma de efectuar la transmisión de potencia	38
2.6 Los efectores finales	41
2.6.1 Tipos de efectores finales	42

2.7 Inteligencia artificial	55
2.7.1 Objetivos de la investigación en IA	56
2.7.2 Técnicas de IA	57
2.7.3 Robótica en inteligencia artificial	59

III. APLICACIONES DE LA ROBÓTICA INDUSTRIAL

3.1 Aplicaciones de la robótica	63
3.1.1 Dominios de aplicación	63
3.1.1.1 Carga y descarga de máquinas	64
3.2 Implantación	65
3.3 Aplicaciones	67
3.3.1 Soldadura por puntos	68
3.3.2 Soldadura por arco	70
3.3.3 Pintura	72
3.3.4 Ensamblaje	76
3.3.5 Forja	77
3.3.6 Fundición	78
3.3.7 Mecanizado	78
3.4 Ejemplos de aplicaciones en algunas industrias	80
3.4.1 Robots en el sector de la construcción	82
3.4.2 Minería del carbón subterránea	84
3.4.3 Aplicaciones de robótica en Ford México	85
3.5 Aplicaciones consolidadas de robots	86
3.5.1 Por tipo de industria	86
3.5.2 Por naturaleza de la tarea	90
3.5.3 Algunas aplicaciones consolidadas con el empleo de la visión artificial	93
3.6 Robots experimentales	95
3.7 Aparatos en estado de desarrollo	95

3.8 Características de las tareas del robot del futuro	96
3.9 consideraciones en la implantación de robots	100
3.9.1 Estrategia general	101
3.9.2 La ayuda de los sensores	104
3.9.3 El momento oportuno para transformar una máquina o una línea	106
3.9.4 Preparar los avances para cuando se produce una expansión de la producción	107
3.9.5 El aprovechamiento del equipo	107
3.9.6 Estudio previo	109
3.9.7 Atención a posibles disminuciones del ritmo de producción	110
3.9.8 Posibilidad de notables aumentos de producción	110
3.10 Justificación financiera de la robótica	112
3.10.1 Periodo de recuperación de la inversión	112
Conclusiones	120
Bibliografía	125

INTRODUCCIÓN

La robótica es una disciplina de reciente aparición, hoy en día ha adquirido suma importancia en la investigación, avance y desarrollo tecnológico; además de aumentar constantemente su actuación en trabajos anteriormente desarrollados por el hombre, lo que ha sido benéfico para tareas que implicaban riesgos para el ser humano y ahora, gracias a la robótica son más fáciles de realizar.

Por lo anterior, esta tesis profesional se enfocará a estudiar el tema: Robótica y su aplicación industrial; además, por ser un tema de gran interés para la humanidad debido a los beneficios que ha traído y traerá el desarrollo de esta disciplina cuando es enfocada a facilitar y ayudar en el trabajo productivo de una sociedad.

Esta tesis es un trabajo de investigación que pretende ser informativo y explicativo de esta moderna disciplina. Aunque el tema no tiene fronteras que lo limiten, debido a que está en constante desarrollo y es muy extenso, se abarcarán los aspectos más relevantes de él, de la manera más concreta y sencilla posible; no sin antes aclarar que el tema se presta a muchos más trabajos de investigación, ya que cuenta con muchas ramas a donde enfocarse.

El trabajo se divide en tres capítulos; que a consideración del autor, explicarán lo más relevante del tema:

Introducción a la robótica.

Anatomía y características de los robots.

Aplicaciones de la robótica industrial.

El primer capítulo nos introduce a la robótica: definiendo lo que es un robot, resumiendo la historia de la robótica, conociendo la influencia de la automatización en la robótica, y, finalmente hablando un poco del mercado de la robótica y lo que se espera para su futuro.

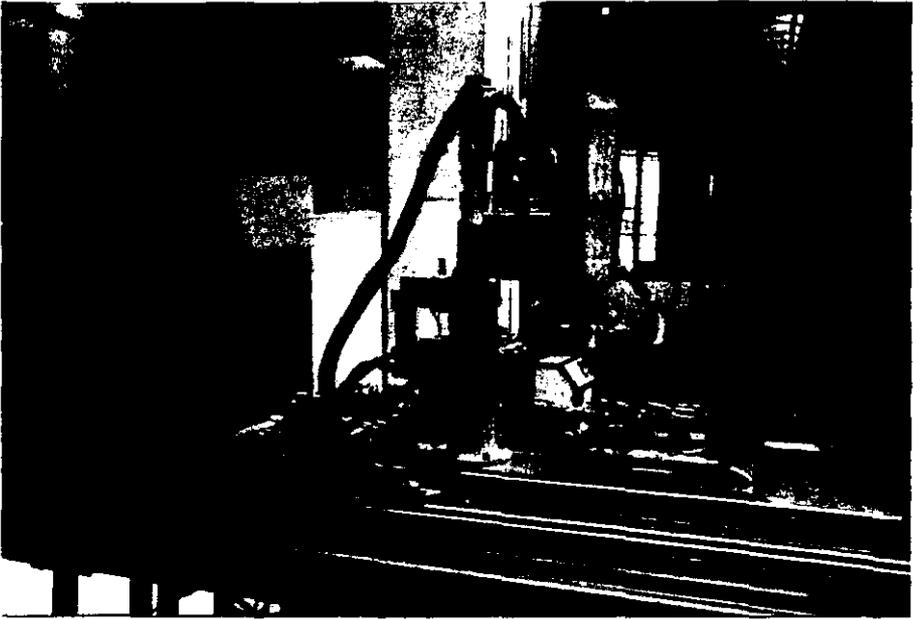
En el segundo capítulo se habla de: la anatomía del robot, las partes constitutivas del mismo y sus elementos de trabajo, los elementos de mando-actuadores, los sensores como elementos de

señalización, los elementos de transmisiones, los efectores finales y finalmente de inteligencia artificial.

El tercer y último capítulo se refiere a: aplicaciones de la robótica, implantación y aplicaciones de robots, aplicaciones en algunas industrias, aplicaciones consolidadas de robots, robots experimentales, aparatos en estado de desarrollo, características de las tareas del robot del futuro, algunas consideraciones en la implantación de robots y un análisis financiero en la implantación de un robot.

Por último, el trabajo finaliza con los puntos que conviene recalcar, debido a su importancia y relevancia en el tema de la robótica.

Capítulo I



Introducción a la robótica

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Los primeros trabajos que condujeron a los robots industriales de hoy día se remontan al periodo que siguió inmediatamente a la segunda guerra mundial (1939-1945). El término robot proviene del checo y lo usó por primera vez el escritor Karel Capek en 1917 para referirse en sus obras a máquinas con forma humanoide. Tuvieron que transcurrir otros cuarenta años antes de que se iniciara la moderna tecnología de la robótica industrial. Actualmente los robots son manipuladores mecánicos muy automatizados controlados por computadoras.

Desde tiempos remotos, el hombre intentó realizar estructuras mecánicas animadas, por asociación de palancas, poleas, cuñas, etc. posteriormente elaboró levas y dispositivos hidráulicos simples. Arquímedes (287-212 a.C.) descubrió su principio, calcula el número "pi" e inventó el resorte y el tornillo que llevan su nombre.

Con el renacimiento, los progresos tecnológicos (como el sistema bielamanivela) conducen a Leonardo Da Vinci a realizar un león animado. En 1920, el escritor Karel Capek (1890 -1938) crea una obra de teatro R.U.R. (Rossum' s Universal Robots); pequeños seres antropomorfos que obedecían las órdenes de sus amos.

El descubrimiento y perfeccionamiento de los motores térmicos y posteriormente eléctricos, así como el progreso de la tecnología neumática e hidráulica va a dar entrada a la revolución industrial, el desarrollo de máquinas y finalmente la mecanización.

En los años 40 Isaac Assimov, introduce el término robótica, así como las tres leyes de la robótica¹:

- UN ROBOT NO DEBERÁ CAUSAR NINGÚN DAÑO AL SER HUMANO, NI PERMITIR, A TRAVÉS DE SU INACTIVIDAD, QUE ALGO O ALGUIEN LO HAGA.
- UN ROBOT DEBERÁ OBEDECER SIEMPRE LAS ÓRDENES HUMANAS, A MENOS QUE SE CONTRAVENGAN A LA PRIMERA LEY.
- UN ROBOT DEBERÁ AUTOPROTEGERSE DE CUALQUIER DAÑO, A MENOS QUE SE CONTRAVENGAN LAS DOS PRIMERAS LEYES.

A finales de los 50 hicieron su aparición los precursores de los robots modernos (manipuladores mecánicos de control manual). Estos mecanismos eran utilizados para transportar material radioactivo sin peligro al operador. Los trabajos iniciales de investigación sobre estos aparatos permitieron poner a punto los aspectos cinemáticos y dinámicos utilizados hoy en día en la robótica.

En la década de los 60, George Devol de Unimation, diseñó y fabricó un dispositivo que combina un mecanismo articulado de un manipulador mecánico de control manual con los servocontroles de una máquina-herramienta de control numérico.

En los 70 la investigación robótica se inició formalmente en la Universidad de Stanford y en el Instituto Tecnológico de Massachussets. En el diseño y fabricación de robots; Estados Unidos, Japón y Europa (principalmente Suecia) son los países más avanzados.

¹ Minsky Marvin, Robótica- La Última Frontera de Alta Tecnología.
Editorial Planeta. Pag. 124

1.2 DEFINICIÓN

En el estado actual de la tecnología podemos definir la robótica como el conjunto de disciplinas o tecnologías que permiten diseñar, realizar y automatizar estructuras mecánicas articuladas destinadas a la producción industrial.

Según ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION) define a un robot industrial como un manipulador controlado en posición reprogramable, polivalente con varios grados de libertad, capaz de manipular materiales, herramientas y dispositivos especializados durante los movimientos variados y programados para le ejecución de una gran variedad de tareas.

Por otro lado JIRA (JAPAN INDUSTRIAL ROBOT ASSOCIATION) define a un robot como una máquina capaz de realizar movimientos versátiles similares a los de las extremidades superiores del ser humano, con cierta capacidad sensorial y de reconocimiento y que pueden controlar su comportamiento.

1.3 HISTORIA DE LA RÓBOTICA

La ciencia-ficción ha contribuido, sin duda alguna, al desarrollo de la robótica, implantando ideas en las mentes de las generaciones jóvenes que podrían verse atraídos por la robótica y creando deseos de conocimientos entre el público acerca de esta tecnología. Asimismo debemos identificar algunos desarrollos tecnológicos realizados a través de los años que han contribuido a los fundamentos de la robótica. En la Tabla 1.1 (expuesta unas paginas más adelante) se presenta una lista cronológica que resume los desarrollos históricos producidos en la tecnología de la robótica.

Algunos de los desarrollos primitivos en el campo de los autómatas merecen mención aparte, aunque no todos ellos estén directamente relacionados

con la robótica. En los siglos XVII y XVIII se crearon varios dispositivos mecánicos ingeniosos que tenían algunas de las características de los robots. Jaques de Vaucanson construyó varios músicos de tamaño humano a mediados del siglo XVIII. Esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión. En 1805, Henri Mailladet construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Una serie de levas se utilizaban como el «programa» para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar. Hubo otras invenciones mecánicas durante la revolución industrial, muchas de las cuales estaban dirigidas al sector de la producción textil. Entre ellas pueden citarse la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico, de Cartwright (1785), el telar Jacquard (1801) entre otros.

En los años 40 y 50, el control numérico y la telequérica⁽¹⁾ son dos tecnologías importantes en el desarrollo de la robótica.

El control numérico (NC) se desarrolló para máquinas-herramientas a finales de los años 40 y principios de los años 50. Como su nombre indica, el control numérico implica el control de las acciones de una máquina-herramienta por medio de números. Está basado en el trabajo original del inventor inglés John Parsons, que concibió el empleo de tarjetas perforadas, las cuales contienen datos de posiciones, para controlar los de una máquina-herramienta. Demostró su concepción a las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos, que proporcionaron apoyo a un proyecto de investigación y desarrollo en el Instituto de Tecnologías de Massachusetts.

El proyecto del MIT (Instituto de Tecnologías de Massachusetts) utilizaba una fresadora de tres ejes para mostrar el prototipo para control numérico en 1952. Un trabajo posterior en el MIT llevó al desarrollo del APT (Automatically

(1) La telequérica abarca la utilización de un manipulador remoto controlado por un ser humano. A veces denominado teleoperador, el manipulador remoto es un dispositivo mecánico que traduce los movimientos del operador humano en movimientos correspondientes en una posición remota.

Programmed Tooling), un lenguaje de programación de piezas para realizar la programación de máquina-herramienta de control numérico.

Es interesante destacar el hecho de que el telar de Jacquard y el ejecutor de obras al piano, desarrollados hacia 1876, pueden considerarse como precursores de la máquina-herramienta NC moderna; ya que ambos dispositivos operaban utilizando una forma de cinta de papel perforada como un programa para controlar las acciones de las respectivas máquinas.

En el campo de la telequímica abarca la utilización de un manipulador remoto controlado por un ser humano. A veces denominado teleoperador, el manipulador remoto es un dispositivo mecánico que traduce los movimientos del operador humano en movimientos correspondientes en una posición remota. Un empleo frecuente de un teleoperador está en la manipulación de sustancias peligrosas tales como materiales radioactivos. El operador humano puede permanecer en un lugar seguro; no obstante, mirando a través de una ventana de cristal plomado o mediante televisión en circuito cerrado, el operador puede guiar los movimientos del brazo remoto. Los primitivos dispositivos eran completamente mecánicos, pero los sistemas más modernos utilizan una combinación de sistemas mecánicos y control electrónico de realimentación.

El trabajo sobre diseño de teleoperadores para la manipulación de materiales radioactivos data de los primeros años de la década de los 40. Dispositivos telequímicos se utilizaron por la Comisión de Energía Atómica hacia la misma época.

Cronología de desarrollos importantes relacionados con la tecnología de la robótica, incluyendo aplicaciones de robots significativas

FECHA	DESARROLLO
1946	El inventor americano G.C. Devol desarrolló un dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica. La patente de Estados Unidos correspondiente se emitió en 1952.
1951	Trabajo de desarrollo con teleoperadores (manipuladores de control remoto) para manejar materiales radioactivos. Patentes de Estados Unidos relacionadas emitidas por Goertz (1954) y Bergsland (1958).
1952	Una máquina prototipo de control numérico fue objeto de demostración en el Instituto de Tecnología de Massachusetts después de varios años de desarrollo. Un lenguaje de programación de piezas denominado APT (Automatically Programmend Tooling Herramental) se desarrolló posteriormente y se publicó en 1961.
1954	El inventor británico C. W. Kenward solicitó una patente para diseño de robot. Patente británica emitida en 1957.
1954	G. C. Devol desarrolla diseños para «transferencia de artículos programada». Patente de Estados Unidos emitida para diseño en 1961.
1959	Se introdujo el primer robot comercial por Planet Corporation. Estaba controlado por interruptores de fin de carreras y levas.
1960	Se introdujo el primer robot «Unimate», basado en la «transferencia de artículos programada» de Devol. Utilizaba los principios de control numérico para el control del manipulador y era un robot de transmisión hidráulica.
1961	Un robot Unimate se instaló en la Ford Motor Company para atender una máquina de fundición en troquel.
1966	Trailfa, una firma noruega, construyó e instaló un robot de pintura por pulverización.

1968	Un robot móvil llamado «Shakey» se desarrolló en SRI (Stanford Research Institute). Estaba provisto de una diversidad de sensores, incluyendo una cámara de visión y sensores táctiles, y podía desplazarse por el suelo.
1971	El «Stanford Arm», un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolló en Stanford University.
1973	Se desarrolló en SRI el primer lenguaje de programación de robot del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE. Fue seguido por el lenguaje AL en 1974. Los dos lenguajes se desarrollaron posteriormente en el lenguaje VAL comercial para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.
1974	ASEA introdujo el robot 1Rb6 de accionamiento completamente eléctrico.
1975	El robot «Sigma» de Olivetti se utilizó en operaciones de montaje, una de las primitivas aplicaciones de la robótica al montaje.
1976	Un dispositivo de Remote Center Compliance (RCC) para la inserción de piezas en la línea de montaje se desarrolló en los laboratorios Charles Stark Draper Labs en Estados Unidos.
1978	Se introdujo el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) para tareas de montaje por Unimation, basándose en diseños obtenidos en un estudio de la General Motors.
1978	El robot T 3 de Cincinnati Milacron se adoptó y programó para realizar operaciones de taladro y circulación de materiales en componentes de aviones, bajo el patrocinio de Air Force ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing).
1979	Desarrollo del robot del tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotie Assembly) en la Universidad de Yamanashi en Japón para montaje. Varios robots SCARA comerciales se introdujeron hacia 1981.
1980	Un sistema robótico de captación de recipientes fue objeto de demostración en la Universidad de Rhode Island. Con el empleo de la

	visión de máquina, el sistema era capaz de captar piezas en orientaciones aleatorias y posiciones fuera de un recipiente.
1981	En la Universidad Carnegie-Mellon un robot de impulsión directa. Utilizaba motores eléctricos situados en la articulaciones del manipulador sin las transmisiones mecánicas habituales empleadas en la mayoría de los robots.
1982	IBM introduce el robot RS-1 para montaje, basado en varios años de desarrollo interno. Se trata de un robot de estructura de caja que utiliza un brazo constituido por tres dispositivos de deslizamiento ortogonales. El lenguaje de robot AML, desarrollado por IBM, se introdujo también para programar el robot RS-1.
1984	Varios sistemas de programación fuera de línea se demostraron en la exposición robots S. La operación típica de estos sistemas permitía que se desarrollaran programas de robot utilizando gráficos interactivos en una computadora personal y luego se cargaban en el robot.

Tabla 1.1

La combinación del control numérico y de la telequérica constituyen la base para el robot moderno. El robot es un manipulador mecánico cuyos movimientos se controlan mediante técnicas de programación muy similares a las empleadas en el control numérico. Dos personas merecen el reconocimiento de la confluencia de estas dos tecnologías y el personal que podría ofrecer en las aplicaciones industriales.

El primero fue un inventor británico llamado Cyril Walter Kenward, y el segundo es George C. Devol un inventor norteamericano.

Cyril Walter Kenward solicitó una patente británica para un dispositivo robótico en marzo de 1954. Esta patente se emitió en 1957.

A George C. Devol se le atribuyen dos invenciones. La primera invención fue en 1946, era un dispositivo para grabar magnéticamente señales eléctricas y reproducirlas para controlar una máquina y su patente se emitió en 1952. La segunda invención fue llamada "Transferencia de artículos Programada" y su patente correspondiente se emitió en 1961.

Fue el trabajo de Devol el que estableció las bases para el robot industrial moderno. Lo que hizo que su invención se introdujera en una industria en Estados Unidos y no en el Reino Unido fue la presencia de un catalizador en la persona de Joseph F. Engelberger.

Joseph F. Engelberger se graduó en la Universidad de Columbia en Físicas en 1949. Siendo estudiante había leído con fascinación varias de las novelas de Asimov. A mediados de los años 50 era el ingeniero jefe para una división aeroespacial de una compañía localizada en Stanford, Connecticut; la división estaba dedicada a la obtención de controles para motores de propulsión a chorro. En 1956 Engelberger se reunió con George Devol en una fiesta celebrada en Fairfield, Connecticut; durante la conversación, Devol habló a Engelberger sobre su invención del dispositivo de transferencia de artículos programada y ambos iniciaron conversaciones sobre la posibilidad de comercializar tal invento.

Con el respaldo financiero de la Consolidated Diesel Electric Company (ahora Condec Corp.), Engelberger y Devol comenzaron a desarrollar planes y un consorcio entre Consolidated Diesel Electric y Pullman Corporation. Engelberger llegó a ser presidente de la compañía, y desde entonces viene promocionando el desarrollo y la aplicación de la robótica.

La primera instalación de un robot Unimate fue hecha en la Ford Motor Company para descarga de una máquina de fundición en troquel (aunque la Ford fue una de las primeras compañías en utilizar un robot, rehusó durante muchos

años reconocer la palabra robot, prefiriendo el empleo del término 'dispositivo de transferencia universal' o UTD, según sus siglas en Inglés). Siguieron más aplicaciones, con lentitud al principio, utilizando robots no solamente de Unimation, sino también de varias otras compañías en Estados Unidos y Japón.

Hubo muchas otras contribuciones significativas al campo de la robótica. No obstante, debe señalarse que parte del trabajo pionero se desarrolló en la Stanford University y Stanford Research Institute sobre el lenguaje de robot orientados a computadoras. Se desarrolló el lenguaje experimental denominado WAVE, que fue seguido por el desarrollo de AL, que es otro lenguaje.

El primer lenguaje de robot comercial fue VAL, desarrollado por Víctor Scheinman y Bruce Simano para Unimation, Inc. El lenguaje se utilizó primero para programar el robot PUMA de Unimation, que es un robot de brazo articulado relativamente pequeño, cuyo diseño estaba basado en los estudios de automatización del montaje que habían sido realizados por General Motors. PUMA es la abreviatura de Programmable Universal Machine for Assembly.

El trabajo de Stanford sobre lenguajes de robots y gran parte del trabajo posterior desarrollado sobre la robótica está basado, en gran medida, en los desarrollos de la tecnología informática. Aunque las computadoras estaban disponibles desde el nacimiento de la industria robótica, la economía no estuvo dispuesta para el empleo de una pequeña computadora como el controlador del robot hasta la última mitad de los años 70. Actualmente casi todos los robots introducidos en el mercado utilizan controles informáticos. En realidad, el campo de la robótica se suele considerar como una combinación de tecnología de máquinas-herramientas y de computación.

1.4 AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. Podemos definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras en la operación y control de la producción. Ejemplos de esta tecnología son: líneas de transferencia, máquinas de montaje mecanizado, sistemas de control aplicados a los procesos industriales, máquinas-herramientas con control numérico y robots. En consecuencia, la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases de automatización industrial: la automatización fija, automatización programable y automatización flexible.

La **automatización fija** se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar el producto (o un componente de un producto) con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción. Un buen ejemplo de la automatización fija puede encontrarse en la industria automotriz, en donde las líneas de transferencia, muy integradas, constituidas por varias decenas de estaciones de trabajo se utilizan para operaciones de mecanizado en componentes de motores y transmisiones. El riesgo encontrado con la automatización fija es que al ser el costo de inversión inicial elevado, si el volumen de producción resulta ser más bajo que el previsto, los costos unitarios se harán también mayores que los considerados.

Otro problema con la automatización fija es que el equipo está especialmente diseñado para obtener el producto, y una vez que se haya acabado el ciclo de vida del producto es probable que el equipo quede obsoleto. Por lo tanto para productos con otros ciclos de vida el empleo de la automatización fija representa un gran riesgo.

La **automatización programable** se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción está diseñado para adaptarse a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo control de un "programa" de instrucciones que se preparó especialmente para el producto dado. El programa se introduce por lectura en el equipo de producción y este último realiza la secuencia particular de operaciones de procesamiento (o montaje) para obtener el producto. El costo del equipo programable puede repartirse entre un gran número de productos, aun cuando sean diferentes. Gracias a la característica de programación y a la adaptabilidad resultante del equipo, muchos productos diferentes y únicos en su género pueden obtenerse económicamente en pequeños lotes.

La **automatización flexible** que incluye los "sistemas de fabricación flexibles" (o FMS) y los "sistemas de fabricación integrados por computadora". La automatización flexible ha sido desarrollada en los últimos quince o veinte años y es recomendada para la producción de volumen medio. Los sistemas flexibles tienen algunas de las características de la automatización fija y de la automatización programable. Debe programarse para diferentes configuraciones suele estar más limitada que para la automatización programable, lo que permite que se produzca un cierto grado de integración en el sistema. Los sistemas automatizados flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. Una computadora central se utiliza para controlar las diversas actividades que se producen en el sistema, encaminando las diversas piezas a las estaciones adecuadas y controlando las operaciones programadas en las diferentes estaciones.

Una de las características que distingue a la automatización programable de la automatización flexible es que con la automatización programable los productos se obtienen en lotes. Cuando se completa un lote, el equipo se

programa para procesar el siguiente lote. Con la automatización flexible, diferentes productos pueden obtenerse al mismo tiempo en el mismo sistema de fabricación. Esta característica permite un nivel de versatilidad que no está disponible en la automatización programable.

Esto significa que puede obtenerse productos en un sistema flexible en lotes si ello fuera deseable, o varios estilos de productos diferentes pueden mezclarse en el sistema. La potencia de cálculo de la computadora de control es lo que posibilita esta versatilidad.

De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

1.5 EL MERCADO DE LA ROBÓTICA Y SUS PERSPECTIVAS

Las ventas anuales para robots industriales han ido creciendo en Estados Unidos a razón de un 25% por año. Las previsiones de ventas presentan una tasa de crecimiento anual medio continuada del 25% a través de 1987. En 1987 era previsible un incremento de la tasa de crecimiento en Estados Unidos debido a varios factores.

En primer lugar, había más personas en la industria que tenían conocimiento de la tecnología y de su potencial para aplicaciones de utilidad. En segundo lugar, la tecnología de la robótica mejorará en los próximos años de manera que hará a los robots más amistosos con el usuario, más fáciles de interconectar con otro hardware y más sencillo de instalar. En tercer lugar, a medida que crece el mercado, son previsibles economías de escala en la producción de robots para proporcionar una reducción en el precio unitario, lo que hará los proyectos de aplicaciones de robots más fáciles de justificar. En cuarto lugar, se espera que el mercado de la robótica sufra una expansión más allá de

las grandes empresas, que ha sido el cliente tradicional para esta tecnología, y llegue a las empresas, de tamaño mediano y pequeño. Esta circunstancia dará lugar a un notable incremento en la base de clientes para los robots industriales. No puede determinarse si estos factores convergerán, en su totalidad. Sin embargo, 1988 es el año en que se incrementó la tasa de crecimiento de las ventas, y empleamos un porcentaje del 40% como estimación de una nueva tasa de crecimiento.

Creemos que es razonable suponer que los robots instalados se degradarán y/o quedarán tecnológicamente obsoletos después de una vida de servicio media de siete años. Los avances en la tecnología y las reducciones en los precios harán a las nuevas unidades relativamente atractivas en comparación con las antiguas unidades en servicio.

La robótica es una tecnología con un futuro y también es una tecnología para el futuro. Si continúan las tendencias actuales, y si algunos de los estudios de investigación en laboratorio actualmente en curso se convierten finalmente en una tecnología factible, los robots del futuro serán unidades móviles con uno o más brazos, capacidades de sensores múltiples y con la misma potencia de procesamiento de datos y de cálculo que las grandes computadoras actuales. Serán capaces de responder a órdenes dadas con voz humana. Asimismo serán capaces de recibir instrucciones generales y traducirlas, utilizando inteligencia artificial, en un conjunto específico de acciones requeridas para llevarlas a cabo. Podrán ver, oír, palpar, aplicar una fuerza media con precisión a un objeto y desplazarse por sus propios medios. En resumen, los futuros robots tendrán muchos de los atributos de los seres humanos. Es difícil imaginar que los robots llegarán a sustituir a los seres humanos en el sentido de la obra de Karel, Robots Universales de Rossum. Por el contrario, la robótica es una tecnología que sólo puede destinarse al beneficio de la humanidad. Sin embargo, como otras tecnologías, hay peligros potenciales implicados y deben establecer salvaguardas para impedir su uso pernicioso.

El paso del presente al futuro exigirá mucho trabajo de ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, informática, ingeniería industrial, tecnología de materiales, ingeniería de sistemas de fabricación y ciencias sociales, la finalidad de esta obra es explorar y examinar estas áreas, que constituyen la tecnología, la programación y la aplicación de la robótica industrial.

Capítulo II



Anatomía y características de los robots

CAPITULO II

2.1 ANATOMÍA DE LOS ROBOTS

La anatomía del robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. La mayoría de los robots utilizados en las fábricas actuales están montados sobre una base que está sujeta al suelo. El cuerpo está unido a la base y el conjunto del brazo está unido al cuerpo. Al final del brazo está la muñeca. La muñeca está constituida por varios componentes que le permiten orientarse en una diversidad de posiciones. Los movimientos relativos entre los diversos componentes del cuerpo, brazo y muñeca son proporcionados por una serie de articulaciones. El cuerpo, el brazo y el conjunto de la muñeca se denominan, a veces, el manipulador.

Unida a la muñeca del robot va una mano. El nombre técnico aplicado a la mano es << *efector final* >>. El efector final no se considera como parte de la anatomía del robot. Las articulaciones del cuerpo y del brazo del manipulador se emplean para situar el efector final y las articulaciones de la muñeca del manipulador se utilizan para orientar dicho efector final.

2.1.1 CUATRO CONFIGURACIONES DE ROBOTS COMUNES

Los robots industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. La gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tiene una de estas cuatro configuraciones básicas:

1. Configuración polar
2. Configuración cilíndrica
3. Configuración de coordenadas cartesianas
4. Configuración de brazo articulado

Las cuatro configuraciones básicas se ilustran en las representaciones esquemáticas de la Figura 2.1

La configuración polar se ilustra en la Figura 2.1 (a) Utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar alrededor de un pivote horizontal. Este pivote está montado sobre una base giratoria. Estas diversas articulaciones proporcionan al robot la capacidad para desplazar su brazo dentro de un espacio esférico, y de aquí la denominación de robot de «coordenadas esféricas» que se suele aplicar a este tipo. Varios robots comerciales tienen la configuración polar.

La configuración cilíndrica, según se muestra en la Figura 2.1 (b), utiliza una columna vertical y un dispositivo de desplazamiento que puede moverse hacia arriba o abajo a lo largo de la columna. El brazo de robot está unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial con respecto a la columna. Haciendo girar la columna, el robot es capaz de conseguir un espacio de trabajo que se aproxima a un cilindro.

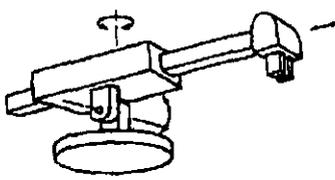


Fig. 2.1 (a)

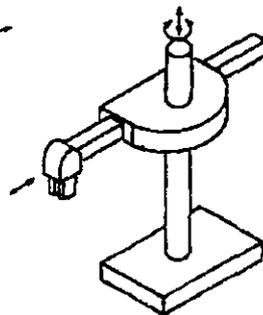


Fig. 2.1 (b)

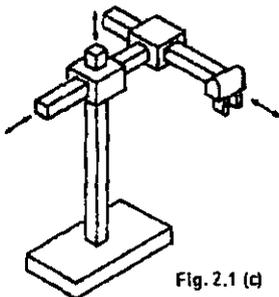


Fig. 2.1 (c)

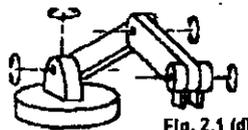


Fig. 2.1 (d)

El robot de coordenadas cartesianas, ilustrado en la parte (c) de la Figura 2.1, utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes x , y y z . Otros nombres se aplican, a veces, a esa configuración, incluyendo las denominaciones de robot xyz y robot rectilíneo. Desplazando los tres dispositivos deslizantes entre sí, el robot es capaz de operar dentro de una envolvente rectangular de trabajo.

El robot de brazo articulado se ilustra en la Figura 2.1 (d). Su configuración es similar a la del brazo humano. Está constituido por dos componentes rectos, que corresponden al antebrazo y al brazo humanos montados sobre un pedestal vertical. Estos componentes están conectados por dos articulaciones giratorias que corresponden al hombro y al codo una muñeca esta unida al extremo del antebrazo con lo que se proporcionan varias articulaciones suplementarias.

Hay ventajas e inconvenientes relativos a las cuatro anatomías de robot básicas, simplemente debido a sus geometrías. En términos de repetibilidad de movimiento (la capacidad para desplazarse a un punto determinado del espacio con un error mínimo), el robot cartesiano de estructura de caja es probable que tenga ventaja, debido a su estructura inherentemente rígida. En términos de alcance la capacidad del robot para extender su brazo articulado resulta ventajosa, al igual que su capacidad de elevación; esta última es importante en muchas aplicaciones. La configuración cilíndrica y el robot xyz de pórtico pueden diseñarse para una carga de máquinas, la capacidad del robot para penetrar a través de una pequeña abertura, sin interferencia con los lados de dicha abertura es importante. Las configuraciones polar y cilíndrica tiene una ventaja geométrica natural en términos de esta capacidad.

2.2 PARTES CONSTITUTIVAS Y ELEMENTOS DE TRABAJO

Los robots industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo.

El trabajo se realiza permitiendo que el robot desplace su cuerpo, brazo y muñeca que se utiliza mediante una serie de movimientos de la muñeca. Los movimientos de articulaciones individuales asociadas a estas dos categorías se denominan, a veces por el término grado de libertad, y un robot industrial típico está dotado de cuatro a seis grados de libertad.

Los movimientos del robot se realizaron por medio de articulaciones accionadas. Tres articulaciones suelen estar asociadas con la acción del brazo y del cuerpo y dos o tres articulaciones del manipulador donde se emplean unos elementos rígidos denominados uniones. En cualquier cadena de unión-articulación-unión, llamaremos unión de entrada al eslabón que está más próximo a la base de la cadena. La unión de salida es la que se desplaza con respecto a la entrada.

Las articulaciones utilizadas en el diseño del robot industrial suelen implicar un movimiento relativo de las uniones contiguas, movimiento que es lineal o rotacional. Las articulaciones lineales implican un movimiento deslizante o de traslación de las uniones de conexión este movimiento puede conseguirse de varias formas (Por ejemplo, un pistón, un mecanismo telescópico y un movimiento relativo a o largo de un carril o vías lineales). El término de la articulación prismática se utiliza a veces en la documentación sobre robótica en lugar de articulación lineal.

Hay, como mínimo, tres tipos de articulaciones giratorias que pueden distinguirse en los manipuladores de robots. Denominaremos al primero como una articulación de tipo R (R como inicial de rotación). En la articulación de tipo R el eje de rotación es perpendicular a los ejes de las dos uniones.

El segundo tipo de articulación giratoria implica un movimiento de torsión entre las uniones de entrada y salida. El eje de rotación de la articulación de torsión es paralelo a los ejes de ambas uniones. Llamaremos a esta articulación de tipo T (T es la abreviatura de torsión).

<u>Tipo</u>	<u>Nombre</u>	
L	Lineal	
R	Rotacional	
T	Torsión	
V	Revolución	

El tercer tipo de articulaciones giratoria es una articulación de revolución en la que unión de entrada es paralela al eje de rotación y la salida es perpendicular a dicho eje. Esencialmente, la unión de la salida gira alrededor a la entrada, como si estuviera en órbita. Esta articulación se designará como de tipo V (V procede de revolución).

Las articulaciones del brazo del cuerpo están diseñadas para permitir al robot desplazar su efector final a una posición deseada dentro de los límites del tamaño del robot y de los movimientos de las articulaciones. Para robots de configuración polar, cilíndrica o de brazo articulado, los tres grados de libertad asociados con los movimientos del brazo y cuerpo son:

1. Transversal vertical: Es la capacidad para desplazar la muñeca hacia arriba o abajo para proporcionar la postura vertical deseada.
2. Transversal radial: Implica la extensión o retracción (movimiento hacia adentro o afuera) del brazo desde el centro vertical del robot.
3. Transversal rotacional: Es la rotación del brazo alrededor del eje vertical.

Los grados de libertad asociados con el brazo y el cuerpo del robot se indican en la Figura 2.2 para un robot de configuración polar. Grados de libertad similares están asociados con la configuración cilíndrica y el robot del brazo articulado. Para un robot de coordenadas cartesianas los tres grados de libertad son: movimiento vertical (movimiento eje Z), movimiento hacia adentro y afuera (movimiento eje Y) y movimiento derecha o izquierda (movimiento eje X). Estos se consiguen por los movimientos correspondientes de los tres dispositivos de deslizamiento ortogonales del brazo del robot.

El movimiento de la muñeca está diseñado para permitir al robot orientar adecuadamente el efector final con respecto a la tarea a realizar.

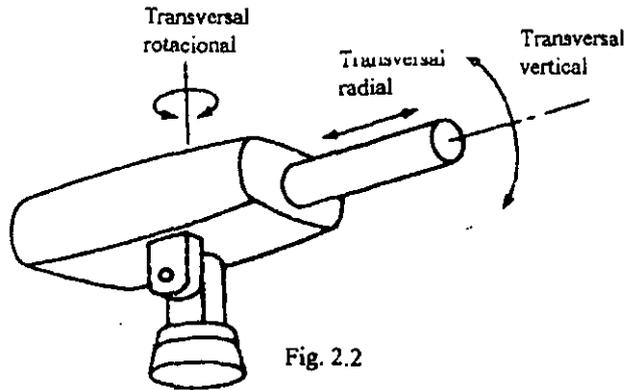


Fig. 2.2

Por ejemplo, la mano debe estar orientada en el ángulo adecuado respecto a la pieza de trabajo para poder agarrarla. Para resolver este problema de orientación, la muñeca suele disponer hasta tres grados de libertad (la siguiente es una configuración típica):

1. Giro de la muñeca: También denominado oscilación de la muñeca, que implica la rotación del mecanismo de la muñeca alrededor del eje del brazo.
2. Elevación de la muñeca: De nuevo, considerado que el giro de la muñeca está en la posición central, la rotación implicaría arriba o debajo de la misma. La elevación de la muñeca se denomina, a veces, flexión de la muñeca.
3. Desviación de la muñeca: De nuevo, considerando que el giro de la muñeca está en la posición central, la rotación implicaría la rotación a derecha o a izquierda de la muñeca.

Tres grados de libertad para la muñeca se ilustran en la Figura 2.3. El motivo para especificar que el giro de la muñeca esté en su posición central en las definiciones de la elevación y de la desviación radica en que la rotación de la

muñeca alrededor del eje del brazo modificará la orientación de los movimientos de elevación y de desviación.

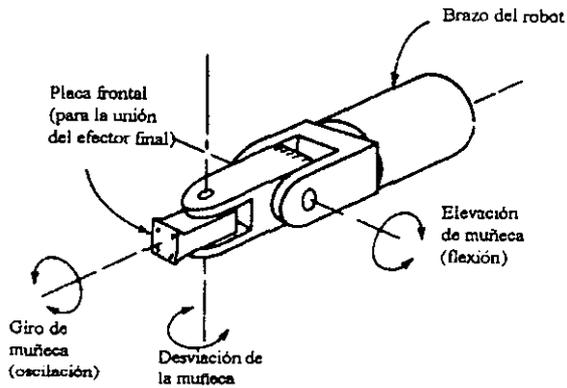


Figura 2.3

2.3 ELEMENTOS DE MANDO-ACTUADORES

La capacidad del robot para desplazar su cuerpo, brazo y muñeca se proporciona por el sistema de impulsión utilizado para accionar el robot. El sistema impulsor determina la velocidad de los movimientos del brazo, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico. En cierta medida el sistema impulsor determina las clases de aplicaciones que puede realizar el robot.

2.3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE IMPULSIÓN

Los robots industriales, disponibles en el mercado, están accionados por uno de los tres tipos de sistema de impulsión. Estos tres sistemas son:

1. Impulsión hidráulica.
2. Impulsión eléctrica.
3. Impulsión neumática.

Las impulsiones hidráulicas y eléctricas son dos tipos utilizados principalmente en los robots más sofisticados.

La impulsión hidráulica suele estar asociada con los robots más grandes. La ventaja habitual del sistema de impulsión hidráulica es proporcional al robot una mayor velocidad y resistencia mecánica. Los inconvenientes del sistema de la impulsión hidráulica pueden diseñarse para actuar sobre articulaciones revolucionarias o lineales. Se pueden emplear actuadores de paletas giratorias para proporcionar un movimiento de rotación y pueden utilizarse pistones hidráulicos para realizar un movimiento lineal.

Los sistemas de impulsión eléctrica no suelen proporcionar tanta velocidad o potencia como los sistemas hidráulicos, pero la exactitud y la repetibilidad de los robots de impulsión eléctrica suelen ser mejores en consecuencia, los robots eléctricos tienden a ser más pequeños, con menos exigencias de espacio y sus aplicaciones tienden hacia un trabajo más preciso. Los robots de impulsión eléctrica son asociados por motores paso a paso o servomotores de corriente continua (c.c.). Estos motores son idóneos para el accionamiento de articulaciones rotacionales mediante sistemas de engranajes y trenes impulsores adecuados. Los motores eléctricos pueden emplearse también para accionar articulaciones lineales por medio de sistemas de poleas u otros mecanismos de traslación.

La economía de los dos tipos de sistemas de impulsión es también un factor en la decisión adecuada para emplear la impulsión hidráulica en los robots grandes y la impulsión eléctrica en los robots más pequeños. Resulta que el costo de un motor eléctrico es proporcional a su tamaño, mientras que el costo de un sistema de impulsión hidráulica depende en menor medida del mismo.

La impulsión neumática suele reservarse para los robots más pequeños que tienen menos grados de libertad (movimientos de dos a cuatro articulaciones). Estos robots suelen estar limitados a simples operaciones de <<coger y situar>> con ciclos rápidos. La potencia neumática puede adaptarse fácilmente a la actuación de dispositivos de pistón para proporcionar un movimiento de traslación de articulaciones para articulaciones rotacionales.

2.4 LOS SENSORES COMO ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN

Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, caudal, etc.) en otro. Una transformación común es la que se produce a la tensión eléctrica, y la razón por la que se realiza esta conversión es que es más fácil trabajar con la señal convertida. Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad) y los tubos Pitot (flujo).

Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivo de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los tipos son:

- 1.- Transductores analógicos
- 2.- Transductores digitales

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, como por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide. Los transductores digitales producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales han llegado a ser más populares a causa de la facilidad con la que se pueden emplear como instrumento de medición independientes. Además, suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores en la automatización y en el control de procesos.

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LOS SENSORES

1. **Exactitud.** La exactitud de la medición debe ser tan alta como sea posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar si hay errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.
2. **Precisión.** La precisión de la medición debe ser tan alta como sea posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
3. **Rango de funcionamiento:** El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

4. **Velocidad de respuesta:** El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.
5. **Calibración:** El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término «desviación» se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.
6. **Fiabilidad:** El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.
7. **Costo y facilidad de funcionamiento:** El costo para comprar, instalar y manejar el sensor debe ser tan bajo como sea posible. Además, lo ideal sería que la instalación y manejo del dispositivo no necesite de ningún operador altamente calificado.

Con el objeto de ser útiles como dispositivos de medida en robótica y en otras aplicaciones, la Tabla 2.1 contiene algunas de las características deseables para los sensores y transductores. Son pocos los sensores que tienen todas estas características. Se debe establecer un compromiso entre ellos para seleccionar el mejor sensor para una aplicación dada.

2.4.2 TIPOS DE SENSORES

Los sensores utilizados en robótica incluyen una amplia gama de dispositivos que se pueden dividir en las siguientes categorías generales:

1. Sensores táctiles.
2. Sensores de contacto.
3. Sensores de fuerza.
4. Sensores de proximidad.

1. Los **sensores táctiles** son dispositivos que indican el contacto entre ellos mismos y algún otro objetivo sólido. Los sensores de fuerza (también llamados algunas veces sensores de esfuerzos) indican no sólo si el contacto ha sido establecido con la pieza, sino también determinan la magnitud de la fuerza de contacto entre los dos objetos.

2. Los **sensores de contacto** se utilizan para indicar que se ha establecido el contacto entre dos objetos, sin considerar la magnitud de la fuerza de contacto. En esta categoría se incluyen dispositivos sencillos, tales como interruptores de límite, microinterruptores y dispositivos similares. Los dispositivos más sencillos se utilizan, con frecuencia, en el diseño de sistemas de enclavamiento en robótica.

3. **Sensores de fuerza.** La capacidad para medir fuerzas permite al robot ejecutar varias tareas. En estas tareas se incluye la capacidad para agarrar objetos de tamaño diferentes en la manipulación de materiales, cargado de maquinaria y trabajos de ensamblaje, aplicando el nivel apropiado de las fuerzas para la pieza dada. En las aplicaciones de ensamblaje la detección de las fuerzas se podría utilizar para determinar si los tornillos han llegado a hacer enroscados transversalmente o si los objetos han quedado atascados.

2.4.3 SENSORES UTILIZADOS EN LAS CÉLULAS DE TRABAJO DEL ROBOT

Amperímetro (varios). Medidor eléctrico utilizado para cuantificar la corriente eléctrica.

Detectores de corriente parásitas (sensores de proximidad). Dispositivos que establecen un campo magnético alterno en el extremo de una sonda, que induce corrientes parásitas en cualquier objeto conductor en el rango del dispositivo. Puede utilizarse para determinar la presencia o ausencia de objetos conductores.

Interruptor de contacto eléctrico (Sensor de contacto). Dispositivo en el que se establece un potencial eléctrico entre dos objetos, y cuando este potencial llega a ser cero, indica el contacto entre los dos objetos. No es un dispositivo comercial. Puede utilizarse para determinar la presencia o ausencia de un objeto conductor.

Sensor de infrarrojos (sensor de proximidad). Transductor que mide temperaturas mediante la luz infrarroja emitida por la superficie de un objeto. Puede utilizarse para determinar la presencia o ausencia de un objeto caliente.

Interruptor del límite (Sensor de contacto). Interruptor de encendido y apagado eléctrico que actúa bajando o presionando una palanca o botón en el dispositivo. Puede utilizarse para cuantificar la presencia o ausencia de un objeto.

Transformador diferencial de variable lineal (varios), Transductor electromecánico utilizado para la medición de un desplazamiento lineal o angular.

Microinterruptor (Sensor de contacto). Pequeño interruptor de límite eléctrico (véase interruptor de límite). Puede utilizarse para determinar la presencia o ausencia de un objeto.

Ohmetro (varios). Medidor utilizado para cuantificar la resistencia eléctrica.

Pirómetro óptico (sensor de proximidad, varios). Dispositivos utilizados para medir temperaturas elevadas mediante la detección del brillo de la superficie de un objeto. Puede emplearse para determinar la presencia o ausencia de un objeto caliente.

Sensores fotométricos (sensor de proximidad, varios). Determinados transductores se utilizan para detectar la luz. En esta categoría se incluyen fotocélulas, transductores fotoeléctricos, fototubos, fotodiodos, fototransistores y fotoconductores. Pueden utilizarse para determinar la presencia o ausencia de un objeto.

Acelerómetros piezoeléctricos (varios). Sensores utilizados para determinar o medir vibraciones.

Potenciómetros (varios). Medidor eléctrico utilizado para medir voltajes (tensiones).

Transductores de presión (varios). Determinados transductores se utilizan para determinar la presión del aire y la presión de otros fluidos.

Pirómetro de radiación (sensor de proximidad, varios). Dispositivo utilizado para medir temperaturas elevadas mediante la detección de la radiación térmica emitida por la superficie de un objeto. Puede emplearse para determinar la presencia o ausencia de un objeto caliente.

Calibrador de tensión (sensor de fuerza). Es un transductor común utilizado para medir la fuerza, el par de torsión, la presión y otras variables afines. Puede utilizarse para determinar la fuerza que aplica una pinza sobre un objeto.

Termistor (varios). Dispositivos basados en una resistencia eléctrica utilizando para medir temperaturas.

Termopar (varios). Dispositivos utilizados con frecuencia para medir temperaturas. Se basa en el principio físico de que la unión de dos metales diferentes emitirá una fuerza electromotriz que puede estar relacionada con la temperatura.

Interruptor de vacío (sensor de proximidad, varios). Dispositivo utilizado para indicar las presiones de aire negativas. Puede utilizarse con una pinza de vacío para indicar la presencia o ausencia de un objeto.

Sensores de visión (sistemas de visión). Sistema de sensores avanzados utilizados con sistemas de reconocimiento de patrones y otras técnicas para ver e interpretar los sucesos ocurridos en el lugar de trabajo del robot.

Sensores de voz (reconocimiento de voz). Sistemas de sensores avanzados utilizados para comunicar órdenes o información oral al robot.

2.4.4 USOS DE SENSORES EN ROBÓTICA

Los empleos principales de los sensores en la robótica industrial y otros sistemas de fabricación automatizados pueden dividirse en cuatro categorías básicas:

1. Vigilancia de seguridad.
2. Enclavamientos en control de la célula de trabajo.
3. Inspección de piezas en cuanto a control de la calidad.
4. Determinación de las posiciones e informaciones afines acerca de los objetos en la célula del robot.

Una de las aplicaciones importantes de la tecnología de los sensores, en las operaciones de fabricación automatizados, es la vigilancia de seguridad o de riesgos que se refieren a la protección de los operadores humanos que trabajan en la proximidad del robot u otros equipos.

El segundo empleo principal de la tecnología de sensores en robótica es implantar enclavamientos en el control de la célula de trabajo. Los enclavamientos se utilizan para coordinar la secuencia de actividades de los diferentes elementos del equipo en la célula de trabajo. En la ejecución del programa de robot hay algunos elementos del ciclo de trabajo cuya integridad debe verificarse antes de proseguir con el siguiente elemento en el ciclo. Los sensores, que suelen ser dispositivos muy simples, se utilizan para proporcionar esta clave de verificación.

La tercera categoría es el control de calidad. Los sensores pueden utilizarse para determinar una diversidad de características de calidad de la pieza. Tradicionalmente el control de calidad ha sido realizado utilizando técnicas de inspección manual sobre una base de muestreo estadístico. El empleo de sensores permite que la operación de inspección se realice automáticamente sobre una base de 100%, en la que se inspeccionan todas las piezas. La limitación sobre el uso de la inspección automática es que el sistema de sensores sólo puede inspeccionar un rango limitado de características y defectos de la pieza. Por ejemplo, una sonda de sensor diseñada para medir la longitud de la pieza no puede detectar defectos en su superficie. Muchas aplicaciones de inspección automatizada se realizan sin el empleo de la robótica es que los robots se suelen utilizar para realizar sistemas de inspección automática por medio de sensores.

El cuarto empleo principal de los sensores en robótica es determinar las posiciones y otras informaciones sobre diversos objetos en la célula de trabajo ejemplos, piezas de trabajo, montajes de sujeción, personal, equipo, etc. Además de los datos posicionales sobre un objeto particular, otra información requerida para ejecutar adecuadamente el ciclo de trabajo podría incluir la orientación, el

tamaño y otras características del objeto. Las razones por las que esta clase de datos se tendría que determinar durante la ejecución del programa son:

1. Identificación de la pieza de trabajo.
2. Situación y orientación aleatoria de las piezas de la célula de trabajo.
3. Exigencias de exactitud en una aplicación dada que superan las capacidades inherentes del robot. Información de realimentación se requiere para mejorar la exactitud del posicionamiento del robot.

2.5 LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIONES

En muchos de los casos, no es posible encontrar un actuador con las características exactas de velocidad-fuerza o velocidad-par motor para realizar las tareas deseadas. En otros casos, es necesario situar el actuador alejado de la articulación prevista del manipulador. Por esos motivos, se hace necesario utilizar algún tipo de transmisión de potencia. Las previsiones de potencia realizan dos funciones: transmitir potencia a una distancia y actuar como transformador de potencia. Hay varias formas de efectuar la transmisión de potencia mecánica. Estas formas incluyen las poleas y las correas, las cadenas y ruedas desinfladas, los engranajes, los ejes de transmisión y potencia que se utilizan para robots industriales.

2.5.1 FORMAS DE EFECTUAR LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Engranajes

El empleo de engranajes para la transmisión de potencia en robots es muy frecuente. Los engranajes se utilizan para transmitir un movimiento giratorio desde un eje a otro. Esta transferencia puede realizarse entre ejes paralelos, ejes en

intersección o ejes sesgados. Los tipos más sencillos de engranajes son para la transmisión entre ejes paralelos y se conocen como «engranajes rectos».

El engranaje impulsor, es el más pequeño, se conoce como el piñón y el otro engranaje es el engranaje conducido. Por ejemplo, si el piñón es de $\frac{1}{4}$ del tamaño del engranaje, por cada revolución realizada por el piñón el engranaje conducido girará solamente $\frac{1}{4}$ de revolución. Este tren de engranaje se conoce como un reductor de velocidad se reduce en $\frac{1}{4}$ y el par motor aplicado por el piñón se multiplica por 4, la potencia de salida del tren de engranaje sigue siendo la misma.

El número de dientes en un engranaje es proporcional a su diámetro. Si suponemos que el número de dientes en un piñón es N^1 y los dientes en el engranaje son N^2 , la relación de engranajes viene dada por:

$$n = \frac{N_1}{N_2}$$

y la velocidad de salida con respecto a la entrada es:

$$\omega_o = n \omega_m$$

En donde ω_o es la velocidad de salida y ω_m es la velocidad de entrada. El par motor de salida es:

$$T_o = \frac{T_m}{n}$$

Tornillos de potencia

En robótica y muchas otras aplicaciones, los tornillos de potencia se suelen utilizar para convertir un movimiento giratorio en un movimiento lineal.

El parámetro de un tornillo, que es análogo a una relación de engranajes, es el paso de tornillos, p , que se suelen denominar también intervalo. El paso define la distancia que el tornillo recorre en una rotación única. La conversión de la rotación angular del tornillo en un movimiento lineal viene dada por:

$$V(t) = p @ (t)$$

En donde $V(t)$ es la velocidad lineal en pulgadas por minuto, (t) es la velocidad angular en revolución por minuto y p es el paso del tornillo expresado en pulgadas por rotación.

Otros elementos de transmisión

Otros dispositivos de transmisión de potencia incluyen sistemas de poleas y transmisiones de cadena. Los sistemas de poleas se suelen utilizar para transmitir potencia desde actuadores situados en la base del robot. En algunos casos el cable o la cuerda puede estar constituido por fibras de acero o por materiales sintéticos, tales como nylon. Las articulaciones rotacionales pueden conectarse a una polea, que es impulsada por un cable unido a un actuador giratorio. Análogamente puede utilizarse cables para activar articulaciones lineales. En una u otra aplicación, el cable sufre una flexión continua durante la operación. Si el cable está incorrectamente dimensionado para la aplicación, ésta puede dar lugar a su estirado o incluso a la rotura. Si el cable se estira, se producirá una degradación de la exactitud del robot. Para mantener un rendimiento deseado, los cables deben conservarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Las transmisiones de cadena operan con una relación constante. Debido a la interacción positiva entre la cadena y las ruedas dentadas, no se produce deslizamiento alguno. El paso de una cadena es la distancia entre centros de rodillos contiguos. La rueda dentada impulsora y la rueda dentada conducida tienen cada una varios dientes diseñados para la adaptación del tamaño y del paso de la cadena. La transmisión de la velocidad de rotación y de la potencia entre las ruedas dentadas sigue relaciones similares a las desarrolladas para engranajes. La lubricación es un factor importante en el mantenimiento de las transmisiones de cadena. Una cadena adecuadamente lubricada puede durar cien veces más que una cadena idéntica pero con una lubricación inadecuada.

2.6. LOS EFECTORES FINALES

Un efector final es un dispositivo que se une a la muñeca del brazo del robot y activa el robot de propósito general para realizar una tarea específica. Algunas veces se hace referencia a ello denominando <<mano>> del robot. La mayoría de las máquinas de producción requieren artefactos especiales y herramientas diseñadas para una operación particular, y un robot no es una excepción. El efector final es una parte de las herramientas de uso especial para un robot. Por norma general, los efectores finales se deben inspeccionar técnicamente para la tarea particular que van a realizar. Esto se puede realizar, en todo caso, a través del estudio y la fabricación del dispositivo a partir de los dispositivos magnéticos o comprando un dispositivo disponible comercialmente y adaptándolo a la aplicación. De este modo, la compañía instaladora del robot puede realizar el trabajo técnico o puede contratar los servicios de otra compañía que realice este tipo de trabajo.

2.6.1 TIPOS DE EFECTORES FINALES

Existe una amplia gama de efectores finales necesarios para realizar una gran variedad de funciones de trabajo diferentes. Estos tipos se pueden dividir en dos categorías principales.

1. Pinzas
2. Herramientas.

1. Pinzas. Las pinzas son efectores finales que se utilizan para agarrar y sostener objetos. Los objetos suelen ser piezas que tienen que ser movidos por el robot. En estas aplicaciones de manejo de los objetos se incluyen la carga y descarga de las máquinas, la recogida de objetos depositados en un transportador y la composición de objetos depositados sobre una plataforma. Además de los objetos de trabajo, entre los objetos manejados por las pinzas del robot se incluyen cartones, botellas, materiales en bruto y herramientas. Se tiende a pensar en las pinzas como en dispositivos de agarre mecánico, pero existen modos alternativos de sujeción de objetos que implican el uso de imanes, ventosas, etc.

Las pinzas, en general, se pueden clasificar en pinzas simples y dobles, aunque esta clasificación se aplica mejor a las pinzas mecánicas. El factor que distingue a la pinza simple es que sólo se monta un dispositivo de agarre en la muñeca del robot. Una pinza doble posee dos dispositivos de agarre unidos a la muñeca y se utiliza para sostener dos objetos distintos. Los dispositivos de dos pinzas pueden actuar de forma independiente. La pinza doble es de especial utilidad en máquinas con aplicaciones de carga y descarga. La pieza final se debe descargar en otro transportador. Con una sola pinza, el robot debería descargar la pieza final antes de recoger la materia prima. Esto consumiría un tiempo valioso en el ciclo de producción porque la máquina tendría que permanecer abierta durante estos movimientos de manejo. Con una pinza doble, el robot puede sostener la pieza del transportador de entrada con uno de los dispositivos de

agarre, teniéndolo preparado para cambiar por la pieza final. Cuando se completa el ciclo de máquina, el robot puede alcanzar la pieza final con el dispositivo de agarre disponible e insertar la materia prima en la máquina con el otro dispositivo de agarre. El tiempo que la máquina está abierta es mínimo.

La pinza de terminales múltiples se aplica en los casos donde dos o más mecanismos de agarre se fijan a la muñeca. Las pinzas dobles son un subgrupo de pinzas múltiples.

Otra forma de clasificar las pinzas es dependiendo si la pieza se agarra en su superficie externa o interna: por ejemplo, piezas circulares. Al primer tipo se le denomina pinza externa y al segundo pinza interna.

En la conexión de esta pinza, las herramientas son los efectores finales diseñados para realizar el trabajo sobre la pieza mejor de lo que haría solamente la pinza. Por definición, el efector final de tipo de herramienta se une a la muñeca del robot. Una de las aplicaciones más comunes de los robots industriales es la soldadura de punto luminoso, en donde los electrodos de punto luminoso constituyen el efector final del robot.

Anteriormente se mencionó que las pinzas se utilizan algunas veces para agarrar herramientas mejor de lo que lo harían las piezas. La razón por la cual se utiliza una pinza en vez de unir la herramienta directamente a la muñeca del brazo radica en que el trabajo requiere la manipulación por parte del robot de varias herramientas durante el ciclo de trabajo. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones podría ser la operación de desbardado, en la que deben utilizar distintas herramientas de desbardado, de tamaños y geometría diferentes, con el objeto de alcanzar a todas las superficies de la pieza de trabajo. La pinza funciona como un dispositivo de cambio rápido para proporcionar la capacidad de cambiar con rapidez de una herramienta a la siguiente.

Además de los efectores finales, se requieren otros tipos de artefactos y herramientas en algunas aplicaciones de robótica industrial. En éstas se incluyen los dispositivos de agarre, de soldadura y otros tipos de dispositivos de agarre que posicionan la pieza de trabajo o la herramienta durante el ciclo de trabajo.

Pinzas mecánicas

Definiciones y Operaciones Básicas.

Una pinza mecánica es un efector final que utiliza dedos mecánicos impulsados por un mecanismo para agarrar una pieza. Los dedos, algunas veces llamados uñas, son los accesorios de la pinza que están en contacto con la pieza. Además, los dedos están unidos al mecanismo o son una parte integral del mismo. Si los dedos son del tipo enganche, se pueden separar y sustituir. Se pueden diseñar conjuntos diferentes de dedos para utilizar con el mismo mecanismo de pinza con el objeto de acoplar los modelos de objetos diferentes. La figura 2.4 ilustra un ejemplo de esta característica de intercambio en la que la pinza está diseñada para admitir dedos de varios tamaños. En la mayoría de las aplicaciones dos dedos son suficientes para sostener la pieza u otro objeto. Las pinzas con tres o más dedos son menos frecuentes.

La función del mecanismo de pinza es trasladar algo a partir de un suministro de energía que origina una acción de agarre de los dedos sobre la pieza. La energía de entrada es suministrada y puede ser neumática, eléctrica, mecánica e hidráulica.

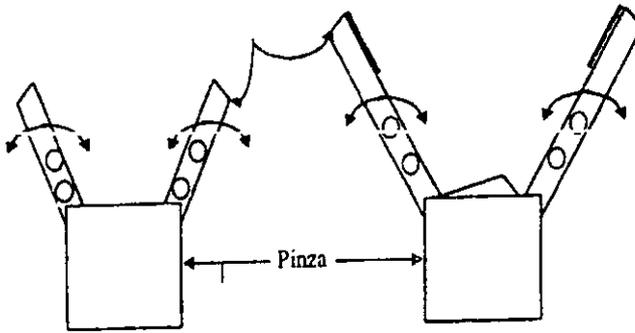


Fig. 2.4 Dedos intercambiables que se pueden utilizar con el mismo mecanismo de pinza.

El mecanismo debe ser capaz de abrir y cerrar los dedos y de aplicar la fuerza suficiente contra la pieza para sostenerlos de forma segura cuando se cierre la pinza.

Existen dos formas de sostener al objeto dentro de la pinza. La primera es comprimiendo la pieza con los dedos. En este método los dedos de la pinza encierran a la pieza hasta alguna posición, imitando el movimiento de la pieza.

La Figura 2.5 ilustra este método de construcción de la pieza. La segunda forma de sujeción de la pieza es mediante el rozamiento entre los dedos y la pieza. Con este método los dedos deben aplicar una fuerza que proporcione un rozamiento suficiente para detener la pieza en contra de la gravedad, la aceleración y otras fuerzas que puedan sugerir durante el tiempo de sujeción del ciclo de trabajo. Los dedos o los cojinetes unidos a los dedos que hacen contacto con la pieza suelen ser fabricados de un material que es relativamente blando. Este se encarga de aumentar el coeficiente de rozamiento entre la pieza y la superficie de contacto de los dedos. También sirve para proteger la superficie de la pieza de posibles arañazos u otros daños.

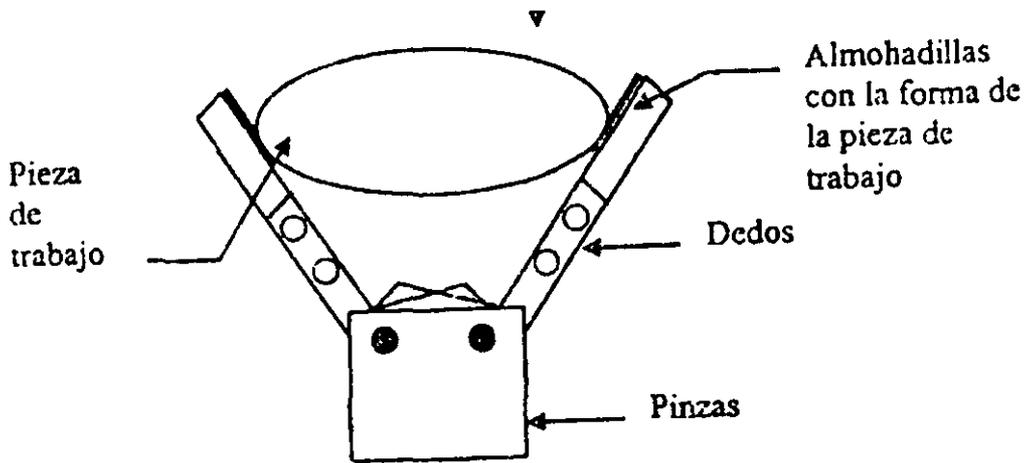


Fig. 2.5 Método de construcción física de un diseño de dedos.

Tipos de Mecanismo de Pinza

Existen varias formas de clasificación de las pinzas mecánicas y de su mecanismo de actuación. Un método es realizar la clasificación de acuerdo con el tipo de movimiento de los dedos utilizado por la pinza. En esta clasificación las pinzas pueden impulsar la apertura y cierre de los dedos mediante uno de los movimientos siguientes:

1. Movimiento de pivotaje.
2. Movimiento lineal o de traslación.

Las pinzas mecánicas también se pueden clasificar de acuerdo al tipo de dispositivo cinemático utilizado para actuar el movimiento del dedo. En esta clasificación se tienen los siguientes tipos:

1. Actuación de articulaciones
2. Actuación de engranaje
3. Actuación de leva
4. Actuación de tornillo
5. Actuación de cable y polea
6. Varios

La categoría de la articulación cubre un rango amplio de posibilidades de diseño para actuar la apertura y cierre de la pinza. El diseño de articulaciones determina como la fuerza de entrada F_a a la pinza se convierte en la fuerza de agarre F_g aplicada por los dedos. El sistema de articulación también determina otras características de funcionamiento, tales como la amplitud con la que se abrirán los dedos de la pinza y la rapidez con la que la pinza actuará.

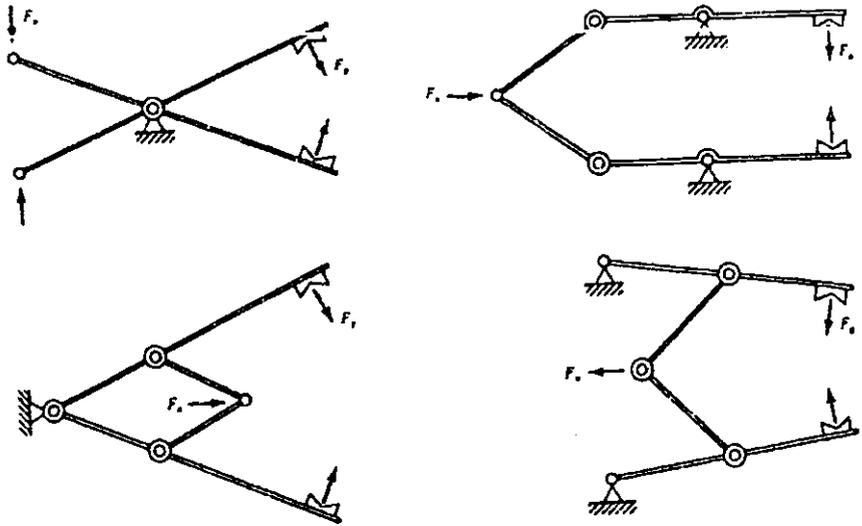


Fig. 2.6 Algunas de las posibles articulaciones de pinzas de robot.

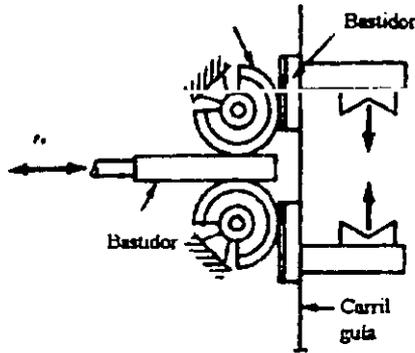


Fig. 2.7 Método de engranaje-bastidor de actuación de una pieza.

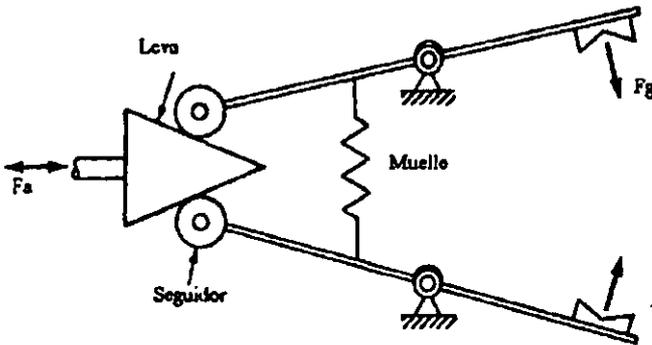


Fig. 2.8 Pinza impulsada por leva

La pinza actuada por leva incluye una gran variedad de diseños posibles un dispositivo de leva y seguidor, incluso si se utiliza un seguidor cargado por muelle, puede proporcionar las acciones de apertura y cierre de pinza. Por ejemplo, el movimiento de la leva en un sentido forzaría a la pinza para que se abriera, mientras que el movimiento de la leva en el sentido contrario produciría en el muelle la fuerza para cerrar la pinza. La ventaja de este dispositivo radia en que la acción del muelle se podría adaptar a los objetos con diferentes tamaños. Esto puede ser deseable, por ejemplo, en una operación de mecanizado en donde se utiliza una sola pinza para agarrar la pieza original y la pieza terminada. La pieza

terminada deberá ser significativamente más pequeña que antes de la transformación.

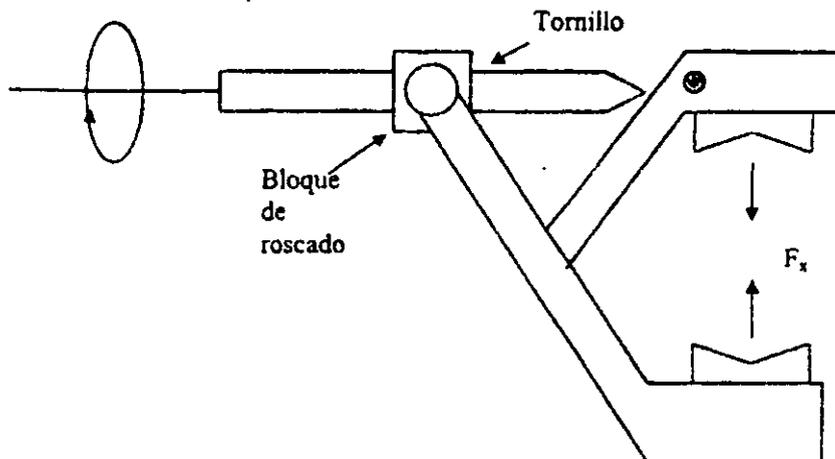


Fig. 2.9 Actuación de pinza tipo tornillo.

La Figura 2.9. Ilustra un ejemplo del método de actuación del tipo de tornillo. El tornillo suele girar mediante un motor acompañado por un mecanismo de reducción de velocidad. Cuando el tornillo gira en un sentido contrario, el bloque roscado se mueve en el sentido opuesto. El bloque, a su vez, se conecta a los dedos de las pinzas para producir la acción correspondiente de apertura o cierre.

Se pueden diseñar mecanismos de cable y polea para abrir y cerrar una pinza mecánica. A causa de la naturaleza de estos mecanismos, algunas formas de dispositivo de tensión se deben utilizar para oponerse al movimiento del cable o a la cuerda del sistema de polea. Por ejemplo, el sistema de polea podría accionarse en un sentido para abrir la pinza y el dispositivo de tensión

compensaría el huelgo en el cable y cerraría la pinza cuando se accionase el sistema de polea en el sentido opuesto.

Otros tipos de pinzas

Además de las pinzas mecánicas, hay una diversidad de otros dispositivos que pueden diseñarse para elevar y sujetar objetos. Entre estos otros tipos de pinzas están incluidos los siguientes:

1. Ventosas
2. Pinzas magnéticas
3. Pinzas adhesivas
4. Ganchos, cucharas y otros dispositivos diversos

Ventosas

Las ventosas, también denominadas casquetes de vacío, pueden utilizarse como dispositivos de pinzas para manipular algunas clases de objetos. Los requisitos habituales exigidos a los objetos a manipular son que sean planos, suaves y limpios, que son las condiciones necesarias para formar un vacío satisfactorio entre el objeto y la ventosa.

Las ventosas utilizadas en este tipo de pinzas de robot suelen ser material elástico, tal como caucho o plástico blanco. Una excepción sería cuando el objeto a manipular esté constituido por un material blando. En este caso, la ventosa sería de una sustancia dura. La forma de la ventosa es regularmente redonda. Se requiere algún medio de extracción de aire entre la ventosa y la superficie de la pieza para crear el vacío. La bomba de vacío y el tubo Venturi son dos dispositivos comunes utilizados para este propósito. La bomba de vacío es un dispositivo accionado por pistón o impulsado por paletas, cuya potencia es suministrada por

un motor eléctrico. Es capaz de crear un vacío relativamente alto. Él tuvo Venturi es un dispositivo más simple.

La capacidad de elevación de la ventosa depende del área efectiva del casquete y de la presión de aire negativa entre el casquete y el objeto.

Algunas de las características y ventajas que caracterizan a la operación de las pinzas de ventosas utilizadas en las aplicaciones de robótica son:

- Sólo requiere una superficie de la pieza para agarre.
- Aplica una presión de distribución uniforme sobre la superficie de la pieza.
- La pinza tiene un peso relativamente pequeño.
- Es aplicable a una diversidad de materiales.

Pinzas magnéticas

Las pinzas magnéticas pueden ser un medio muy factible de manipular materiales ferrosos.

Por lo general, las pinzas magnéticas ofrecen las siguientes ventajas en aplicaciones de manipulación robótica.

- Los tiempos de captación son muy pequeños.
- Pueden tolerarse variaciones en el tamaño de la pieza. La pinza no tiene que diseñarse para una pieza de trabajo particular.
- Tienen la capacidad para manipular piezas mecánicas con agujeros (lo que no es posible con pinzas de vacío).
- Sólo requieren una superficie para agarre.

Los inconvenientes de las pinzas magnéticas incluyen el magnetismo residual permanente en la pinza de trabajo, que puede producir anomalías en la

posterior manipulación y el posible deslizamiento lateral, y otros errores, que limitan la precisión de este medio de manipulación. Otro inconveniente potencial de una pinza magnética es el problema de captar solamente una lámina a partir de una pila.

Como con cualquier dispositivo de agarre robótico, la pieza debe liberarse al final del ciclo de manipulación. Esto es más fácil de realizar con un electroimán que con un imán permanente. Cuando la pieza ha de liberarse, la unidad de control invierte la polaridad a un nivel de potencia reducido, antes de detectar al electroimán. Este procesamiento actúa para cancelar el magnetismo residual en la pieza de trabajo y asegura una liberación positiva de la pinza.

Los imanes permanentes se consideran para tareas de manipulación en entorno peligroso que requieran dispositivos a prueba de explosiones. El hecho de que no se necesita ningún circuito electrónico para accionar el imán reduce el peligro de chispas, que podrían producir una ignición en dicho ambiente.

Pinzas adhesivas

Diseños de pinzas en los que una sustancia adhesiva realiza la acción de agarre pueden utilizarse para manipular tejidos y otros materiales livianos. Los requisitos para los elementos a manipular son que deben agarrarse por un lado solamente y que no son adecuadas otras formas de agarre, tales como por vacío o con imanes. Una de las limitaciones potenciales de una pinza adhesiva es que la sustancia adhesiva pierde su pegajosidad con un empleo repetido. En consecuencia, su finalidad como dispositivo de agarre se disminuye con cada ciclo de operación sucesivo. Para superar esta limitación, el material adhesivo se carga en la forma de una cinta continua en un mecanismo de alimentación que está unido a la muñeca del robot.

Ganchos y cucharas y otros dispositivos diversos

Una diversidad de otros dispositivos puede utilizarse para agarrar piezas o materiales de las aplicaciones robóticas. Los ganchos pueden emplearse como efectores finales para manipular por un gancho deben tener alguna especie de asidero para permitir la acción del gancho.

Las cucharas y los calderos pueden utilizarse para manipular algunos materiales en forma de polvo o líquidos. Los productos químicos en forma de polvo o líquido, materiales alimenticios, sustancias, granulares y metales fundidos son ejemplos de materiales. Una limitación es que la cantidad de material recogido por el robot es, a veces, difícil de controlar. El derrame durante el ciclo de manipulación es también un problema.

Otros tipos de pinzas incluyen dispositivos hinchables en los que la vejiga o diafragma hinchable se expande para agarrar el objeto. La vejiga hinchable es de caucho u otro material elástico, lo que la hace adecuada para agarrar objetos frágiles. La pinza aplica una presión de agarre uniforme contra la superficie del objeto en lugar de una fuerza concentrada típica de una pinza mecánica.

2. Herramientas. En muchas aplicaciones se exige al robot que manipule una herramienta en vez de una pieza de trabajo. En un número limitado de estas aplicaciones el efector final es una pinza que está diseñada para agarrar y manipular la herramienta. El motivo para utilizar una pinza en estas aplicaciones es que puede existir más de una herramienta a utilizar por el robot en un ciclo de trabajo. El empleo de una pinza permite que las herramientas se intercambien durante el ciclo y así se facilita esta función de manipulación multiherramienta.

En la mayoría de las aplicaciones de robot en las que se manipula una herramienta esta última está unida directamente a la muñeca del robot; en estos

casos la herramienta es el efector final. Algunos ejemplos de herramientas utilizadas como efectores finales en aplicaciones de robot incluyen:

- Herramientas de soldadura por puntos.
- Soplete de soldadura por arco.
- Tobera de pintura por pulverización.
- Husillos giratorios para operaciones tales como:
 - Talador
 - Ranurado
 - Cepillado
 - Rectificado
- Aplicaciones de cemento líquido para montaje.
- Sopletes de calentamiento.
- Herramientas de corte por chorro de agua.

En cada caso el robot debe controlar la actuación de la herramienta. Por ejemplo, el robot debe coordinar la actuación de la operación de soldadura por puntos como parte de su ciclo de trabajo. Este último se controla de forma muy similar a la apertura y cierre de una pieza mecánica.

2.7 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los conceptos modernos de control de robots, así como los sensores de visión y táctiles tienen sus raíces en la investigación artificial (IA). La futura generación de lenguajes para programación de robots, habla acerca de la modernización del mundo y la necesidad de un robot que pueda recibir una orden orientada hacia un objetivo, tal como "montar la máquina de escribir", y traducir esto en un conjunto de acciones específicas. La capacidad de realizar esta traducción requerirá de un alto nivel de inteligencia por parte del robot. Es

apropiado que exploremos el tema de inteligencia y sus oportunidades en robótica industrial.

La inteligencia artificial se esfuerza en intentar realizar sistemas que parezcan que se comportan de forma inteligente. A menudo esto se describe como desarrollar máquinas que piensan. A causa de la dificultad de definir inteligencia, la investigación en IA se describe a menudo mejor discutiendo sus objetivos tal como hacemos en el siguiente apartado.

2.7.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN EN IA

Aunque el objetivo general IA es el desarrollo de máquinas que exhiben conducta inteligente, esta afirmación es sí demasiado amplia y ambigua para ser significativa. Los párrafos siguientes describirán algunas de las áreas de la IA que están actualmente siendo objeto de investigación diferenciada.

1. *Resolución de problemas.* Ejemplos de sistemas de resolución de problemas son los programas para jugar al ajedrez a un nivel de experto. La resolución del problema no se restringe necesariamente a los juegos. El diseño de un sistema requiere la división del problema sucesivamente más pequeños hasta que las soluciones comiencen a hacerse evidentes. En este punto debemos mostrar a los robots todos los movimientos que necesitamos para efectuar una tarea de ensamblaje. Un robot dotado con una capacidad de resolver problemas puede ser capaz de desarrollar la misma estrategia de ensamblaje.
2. *Lenguaje Natural.* A pesar de la proliferación de computadoras en grandes almacenes, muchas personas se sienten incómodas cuando tratan con computadoras. Esto se debe en gran parte a la necesidad de hablar a una computadora en su lenguaje y no en el lenguaje natural del usuario. La computadora no solamente debe ser capaz de comprender la sintaxis del lenguaje de manera que se comprendan las relaciones entre palabras.

3. *Sistemas expertos.* Esta área de investigación se preocupa en desarrollar sistemas que parezcan que se comportan como expertos humanos, los sistemas expertos se están utilizando para configurar sistemas de computadoras, diseñar circuitos y efectuar diagnóstico médico. Algunos de los temas relacionados con el diseño de sistemas expertos incluyen los problemas a tratar grandes cantidades de datos, explicar el razonamiento del sistema en su camino de alcanzar una conclusión, representar los datos tomados de los expertos humanos y mejorar la base de conocimientos.
4. *Aprendizaje.* Uno de los atributos de la inteligencia es su capacidad de aprender de la experiencia. Si las máquinas fueran capaces de aprender, entonces las tareas de dotarla de conocimiento como en el caso de los sistemas expertos se simplificaría notablemente.
5. *Visión.* La mayoría de los conceptos básicos empleados en los sistemas de visión comercial son el resultado de la investigación en IA. Uno de los objetivos más interesantes de la investigación en visión en IA es permitir a sistemas realizar un análisis ante la escena.

Otras áreas de investigación en IA incluyen: Programa Automática, Desarrollo de Máquinas y Razonamiento Deductivo.

2.7.2 TÉCNICA DE IA

La IA se preocupa del uso de datos o conocimientos. Por lo tanto se deben desarrollar técnicas para las dos áreas básicas: Representación de datos y manipulación de datos.

Representación del conocimiento

Antes de examinar las diversas representaciones del conocimiento debemos primeramente describir los diversos tipos de conocimientos que puedan necesitar representación.

1. *Objetos*. Más específicamente hechos respecto a objetos, tales como "Los estudiantes de robótica venden mucho" o "los pájaros tiene alas".
2. *Sucesos*. No solamente el propio suceso sino, quizás el tiempo o la relación causa-efecto del suceso.
3. *Funcionamiento*. Si el sistema de IA se ha diseñado para controlar un ROBOT, entonces debe tener datos sobre el funcionamiento del brazo, esto es, su cinemática, dinámica, qué informaciones manipulan en él, estructura física de la máquina, etc.
4. *Meta conocimiento*. Esto es el conocimiento acerca de nuestro conocimiento. Esto incluye nuestro conocimiento de origen de la información, importancia relativa, su fiabilidad.

En este punto examinaremos algunas de las diversas técnicas de presentación del conocimiento.

1. *Lógica*. La lógica formal se desarrolló por los matemáticos y filósofos para proporcionar un método para realizar inferencias de los hechos. La lógica formal permite que los hechos representen una sintaxis específica y, aplicando reglas definidas de inferencias a estos hechos, que se obtengan conclusiones.
2. *Representaciones procedimentales*. Esta técnica de almacenar información como procedimiento se utiliza generalmente en programas de computadora, en sentencias del tipo IF-THEN. Ofrece la ventaja de dirigir el sistema para encontrar la información más directamente. Por otra parte se aparte de la generalidad del sistema y hace difíciles los cambios.

3. *Redes semánticas.* Sin representaciones de información que consisten en nodos y arcos. Los nodos típicamente representan objetos, conceptos o situaciones y los arcos representan las relaciones entre nodos. Los nodos y los arcos se etiquetan con descripciones del lenguaje simple. Las redes se utilizan extensivamente en investigación en IA como un medio de representación de conocimiento. Desgraciadamente también tienen sus desventajas. Pueden ser demasiado simplistas.

2.7.3 ROBÓTICA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El robot inteligente aparece en la confluencia de la robótica industrial adicional y la inteligencia artificial. Las técnicas y representaciones habituales en la IA son insuficientes en el arco de la robótica, puesto que el agente inteligente se encuentra inmerso en un universo físico. La cuestión fundamental que se plantea, desde el punto de vista de la IA, es qué conocimientos son necesarios para dotar a un robot de un comportamiento "inteligente", cómo representarlos y cómo utilizarlos.

El empleo de la IA en robótica ha de considerar los siguientes aspectos:

1. Capacidad de razonamiento sobre el espacio y la geometría de los objetos para aproximarse al mundo real, la robótica necesita modelos geométricos detallados de los objetos, del entorno y del propio robot.
2. Propagación de restricciones geométricas, manipulando la incertidumbre sobre sus valores.
3. Capacidad de razonamiento sobre el universo real, que además de su aspecto geométrico, está sujeta a una serie de leyes físicas: gravedad, rozamientos, etc.
4. Aprendizaje, entendido como la capacidad del robot de adaptar continuamente su comportamiento al universo real, a partir de su propia experiencia.
5. Percepción multisensorial, tendiente a la comprensión del entorno del robot.

En las diferentes facetas de la robótica inteligente (acción sobre el entorno, percepción y razonamiento), la geometría juega un papel central. El conocimiento que un robot tiene sobre el universo, es fundamentalmente geométrico. El punto de partida del mismo puede ser los modelos geométricos elaborados durante el diseño asistido por computador (CAD) de los diferentes elementos que intervienen. No obstante digno es de resaltar que, aunque dichos modelos sean geoméricamente completos, su empleo por el sistema de control será eficaz tras un procesado, que puede ser relativamente complejo. En general, distintos tipos de subproblemas requieren representaciones geométricas diferentes. Así, por ejemplo, para encontrar trayectorias seguras (sin colisiones) para el robot, será conveniente un modelo que tenga en cuenta la forma y dimensiones globales de los objetos, y las restricciones mecánicas del propio robot (problema de accesibilidad); Para planificar una operación más delicada (agarre de una pieza, ensamblado, etc.), será necesario un modelo que represente en detalle la morfología local de los objetos, la incertidumbre en su situación y dimensiones, etc. Un sistema de visión 2D requiere modelos geométricos bidimensionales de "cómo se ven" los objetos en sus distintas posiciones estables.

Del mismo modo que la geometría juega un papel fundamental en la robótica, el mundo físico impone otras restricciones y relaciones, que es necesario tener en cuenta. En particular, es fundamental representar fuerzas (de gravedad, de rozamiento, de contacto, etc.) y relaciones causales, para poder razonar con ellas. Así una excesiva presión puede estropear una pieza sobre la que se efectúa una operación acabado superficial; sin embargo, si la presión es inferior a un cierto valor (función de la parte que se trabaja), la acción puede ser ineficaz. Conceptualmente, empujar una pieza para que se deslice sobre otra no presenta problema especial; no obstante, en un determinado momento, y por el efecto combinado de la fuerza aplicada, la fuerza de rozamiento y la gravedad puede producirse un vuelco que cambie la situación de la pieza y posiblemente sus estados, roturas, etc.

Hay que recordar que durante los desplazamientos no solamente intervienen fuerzas de agarre. La fuerza de inercia provocada por el movimiento se transmite al objeto, y en determinados casos, puede ser decisiva para su deterioro.

En cuanto a la percepción, el problema no se restringe a obtener la "mejor" interpretación de una escena a partir de una información dada. Así, en robótica se puede generar un plan de acción auxiliar, destinada a recoger información que permita elaborar una interpretación con el grado de certidumbre necesaria (percepción activa).

Resumiendo lo anterior, para alcanzar el objetivo de la robótica inteligente es necesario representar el conocimiento sobre el universo real, su geometría, sus leyes físicas, sus inexactitudes, etc., de manera que permita su uso eficiente ("inteligente"). La geometría juega un papel fundamental; sin embargo, la existencia de fuerzas e incertidumbre hace que el planteamiento de todas las acciones del robot no pueda ser puramente posicional. La percepción puede ser necesaria, incluso de forma continua.

Antes de pasar a planteamientos técnicos más concretos, dedicamos unas breves líneas a trazar someramente la evolución histórica de la incorporación de la IA a la robótica. Cuatro son las etapas que distinguiremos:

1. Prolegómenos: 1917 –77. Periodo en que se desarrollan los fundamentos y primeros prototipos de generadores de planes (estratégicos): STRIPS, NOHA,... La problemática es abordada desde un punto de vista meramente lógico.
2. Inicio: 1975 – 77. Se definen las grandes líneas de los primeros sistemas robóticos que pretenden ser completos: LAMA y AUTOPASS. A los aspectos estratégicos se incorporan las problemáticas geométricas y física. La ausencia de técnicas para el tratamiento de los nuevos problemas que aparecen, hace que

estos sistemas no hayan sido implementados más que de forma extremadamente parcial.

3. Soluciones parciales: 1977 – hoy. Se desarrollan conceptos y técnicas para la resolución de los problemas aparecidos. Se hacen importantes progresos.

4. Integración. 1984 – hoy. El objetivo es la construcción de sistemas completos que integren las diferentes capacidades.

Capítulo III



Aplicaciones de la robótica industrial

CAPÍTULO III

3.1 APLICACIONES DE LA ROBÓTICA

Desde las primeras aplicaciones de los manipuladores en el manejo de materiales radiactivos en la industria nuclear los robots se han insertado en diferentes campos industriales, entre los que podemos citar:

- Proceso de fundición.
- Procesos de soldadura.
- Procesos de ensamble.
- Procesos de formato de materiales.
- Procesos de maquinado.
- Procesos de pintura.
- Fabricación de vidrio.
- Etc.

En cada uno de estos procesos los robots industriales cumplen funciones diversas en las que generalmente sustituyen al operador humano en trabajos peligrosos (ruido, temperaturas elevadas, suciedad, etc.), las cuales van siendo rechazadas poco a poco y de manera justificada por el hombre.

3.1.1 DOMINIOS DE APLICACIÓN

- Carga y descarga de máquinas.
- Soldadura.
- Pintura.
- Ensamblaje.
- Aplicaciones especiales.

A continuación hablaremos de uno de los dominios de aplicación más relevantes.

3.1.1.1 CARGA Y DESCARGA DE MAQUINA

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

Carga / Descarga de Maquinas. El robot carga una pieza de trabajo en bruto en el proceso y descarga una pieza acabada. Una operación de mecanizado es un ejemplo de este caso. Ver la figura 3.1.

Carga de Maquinas. El robot debe cargar la pieza de trabajo en bruto a los materiales de la máquina, pero la pieza se extrae mediante algún otro medio. Un ejemplo lo encontramos en una operación de prensado donde las piezas acabadas caen fuera de la prensa por gravedad.

Descarga de Maquinas. La máquina produce piezas acabadas a partir de materiales en bruto que se cargan directamente en la máquina sin ayuda del robot. El robot descarga la pieza de la máquina. Ejemplos de esta categoría incluyen aplicaciones de fundiciones en troquel y modelado plástico.

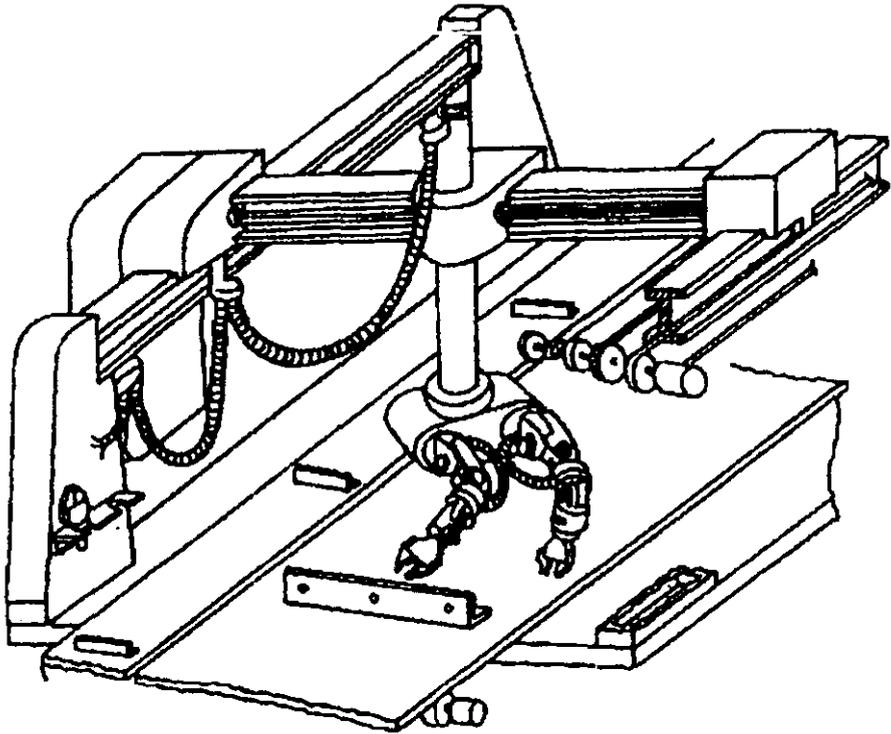


Figura 3.1 Robot Cartesiano para carga y descarga¹.

3.2 IMPLANTACIÓN

En el lenguaje diario se dice que un proceso está "robotizado cuando" los seres humanos que lo llevan a cabo han sido sustituidos por uno o varios robots. Dado que los trabajadores utilizaban unas herramientas y máquinas en su trabajo, los robots servirían también a las mismas máquinas y utilizarían unas herramientas especiales adaptadas a sus características anatómicas.

¹ Industrial Robotic, pág. 456 Nagel y Odrey

Cuando se compara, desde el punto de vista productivo, un robot con un trabajador humano, se observará la nula capacidad de decisión que tienen los robots no inteligentes y aun la escasa de los llamados inteligentes. Pero por otra parte, se observa también su enorme potencial productivo (sobre todo en labores repetitivas), merced a la posibilidad de trabajo interrumpido y preciso, incluso en condiciones ambientales inaceptables para las personas. Asimismo, el hecho real es que, en muchas tareas, un solo robot puede sustituir a dos o más hombres.

A cambio de las ventajas comentadas, es preciso tomar una serie de medidas importantes antes de poner a trabajar a un robot o un batería de ello. En primer lugar, hay que elegir el robot o conjunto de robots más indicados para el proceso productivo y para el medio en que se va a implantar, así como su ubicación o puesto de trabajo.

Por otra parte, los elementos de trabajo, tanto la alimentación de piezas como de maquinaria existente, deben disponerse de acuerdo con las características del robot, aunque si se desea optimizar la integración de éste en la planta de fabricación es preciso dotarlo de sensores tales como visión, fuerza, sonido, etc. Estos mismos sensores sirven, también, para detectar fallas de alimentación u otros imprevistos que puedan surgir durante el tiempo de trabajo.

La elección de la disposición del puesto de trabajo es competencia del ingeniero de producción, quien junto con los técnicos de la casa suministradora, ha de decidir cuál es la organización del sistema de fabricación más adecuada al caso.

La disposición en la zona accesible de la pieza sobre la que se va a trabajar y el procedimiento de alimentación del robot constituyen las claves para obtener un rendimiento óptimo. En ciertos casos, puede ser conveniente disponer de medios de trabajo alrededor del robot y a su alcance. Tal vez sea éste el

procedimiento más conveniente para la instalación de un robot en una empresa donde la robotización se ha realizado todavía en pequeña escala.

Es evidente que esta solución no altera la distribución en planta existente con anterioridad y simplemente "añade un puesto de trabajo más". Casos típicos son las aplicaciones de corte de piezas, prensas, forja, etc., en las que un solo robot puede atender a varias máquinas, siempre que se somete la precaución de situar dentro de su región accesible las diversas herramientas o manos de sujeción que se necesiten.

Un montaje de robot distinto del citado en el párrafo anterior consiste en hacer pasar por el área accesible del robot a las piezas que se desea manipular mediante, por ejemplo, una cinta transportadora. Esta solución es muy utilizada en las cadenas de montaje de automóviles, electrodomésticos, etc.

Una variante de este sistema consiste en hacer que sea el robot quien se desplace, por ejemplo, sobre carriles, mientras que la piezas sobre las que se trabaja permanecen fijas. El procedimiento puede resultar eficaz en el caso de que un mismo robot deba realizar un número grande de tareas diferentes, pero pueden presentarse problemas de interferencia cuando existen varios robots trabajando simultáneamente.

3.3 APLICACIONES

No es objeto de este apartado llevar a cabo una revisión exhaustiva y caso por caso de todas las posibles aplicaciones de los robots en la industria. En efecto, son tantas y con tan variadas tecnologías que su comentario y descripción detallada requeriría, cuando menos, un volumen dedicado especialmente al tema.

Lo que se pretende aquí es, más bien, enumerar y describir brevemente las aplicaciones más usuales, como se indica a continuación:

Soldadura por puntos.

Soldadura por arco.

Pintura.

Ensamblaje.

Forja.

Fundición.

Mecanizado.

Uniones pegadas.

Pulido.

Inspección.

Prensa.

Hay varias áreas más, como plásticos inyectados, tratamientos térmicos almacenamiento, fabricación de cristal, etc.

3.3.1 SOLDADURA POR PUNTOS

La soldadura por puntos es un proceso en el que dos piezas de metal se sueldan en puntos localizados al hacer pasar una gran corriente eléctrica a través de las piezas donde se efectúa la soldadura. La fusión se efectúa a niveles de tensión relativamente bajos utilizando dos electrodos para comprimir las piezas en los puntos de contacto y aplicar la corriente en el área de soldadura. La corriente eléctrica resulta en un calor suficiente en el área de contacto para fusionar las dos piezas del metal y por tanto producir así la soldadura.

Los beneficios que resultan de la automatización del proceso de soldadura por puntos mediante robots son: una mejor calidad del producto, seguridad del operario y mejor control sobre la operación de producción.

La mejora en calidad es la forma de soldadura más consistente y mejor respetabilidad y localización de esta. Incluso robots con relativamente especificaciones de respetabilidad no muy exigente son capaces de localizar soldadura por punto de forma más precisa que los operarios humanos.

El mantenimiento de los robots y de los equipos de soldadura se convierte en un factor importante en la operación satisfactoria de una línea de producción de soldadura por puntos automatizada.

Constituye una de las aplicaciones más típicas de los robots industriales y, a la vez, una de las primeras que se emplearon, sobre todo en el campo de la industria automotriz. No pensemos, sin embargo, que es una de las aplicaciones sencillas; al contrario, obtener un buen rendimiento en una instalación de robots para soldadura por puntos requiere múltiples estudios y la utilización de robots de alta tecnología. En las instalaciones de soldadura por puntos, los robots son dispuestos, generalmente, en batería y de forma que la alimentación de piezas se realice mediante un transportador.

En un montaje de varios robots trabajando simultáneamente en una cadena de producción, su sincronización es un espectro importante. Una solución posible para ello consiste en utilizar un computador central para el control de todos los robots, que sirve, al mismo tiempo, para muestrear la producción, analizando la calidad de la soldaduras.

Asimismo, hay que tener en cuenta que el proceso de soldadura requiere que la cadena esté parada mientras la misma se realiza, por lo que es necesario un estudio detallado para minimizar el número de estaciones estáticas.

En la figura 3.2 de (a) a (d) se ilustra un corte longitudinal de la soldadura por puntos durante estas etapas y en la Figura 3.2. (e) se muestra cómo la carga, el movimiento del electrodo y la corriente cambia con el tiempo.

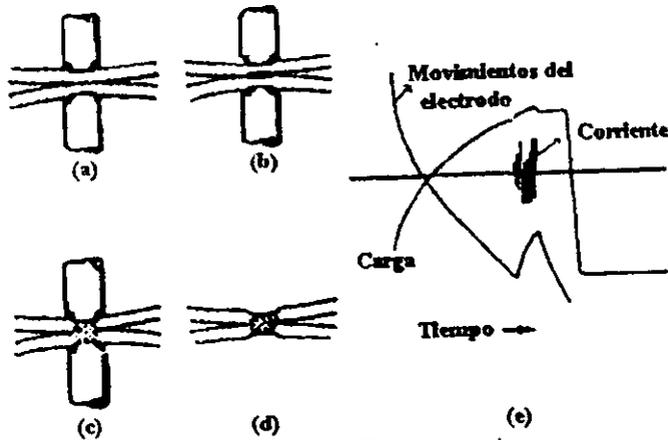


Figura 3.2 Soldadura por puntos: (a) aplicación de presión, (b) flujo de corriente, (c) se mantiene la presión después de interrumpir el flujo de corriente, (d) soldadura terminada, (e) curvas de la corriente, la carga y del movimiento del electrodo.

3.3.2 SOLDADURA POR ARCO

Cuando es necesario aplicar una costura continua de soldadura, se requiere un control de trayectoria continua (CP) en lugar de un control punto a punto (PTP). La cabeza de soldadura debe moverse con suavidad a baja velocidad (8 a 25 mm/s) y el sistema de control debe asegurar que la repetitividad de la trayectoria sea del orden de ± 0.5 mm.

Aun cuando esta especificación es extrema, actualmente hay más de treinta fabricantes de robots capaces de realizar una soldadura de arco. En la Figuras 3.3 y 3.4 se ilustra este proceso².

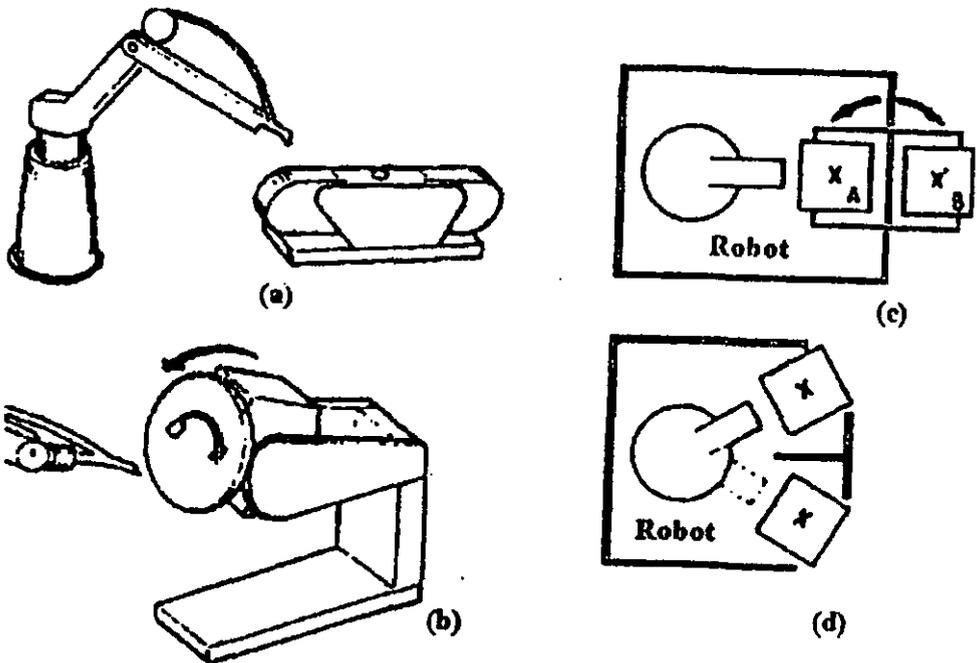


Figura 3.3. Soldadura por arco en la que se utiliza un robot: (a) con una mesa giratoria, (b) con un posicionador con dos grados de libertad, (c) mesa giratoria que se carga en forma manual, (d) configuración con dos mesas para carga manual.

² Introducción a la robótica López - Numa. Pag.156.

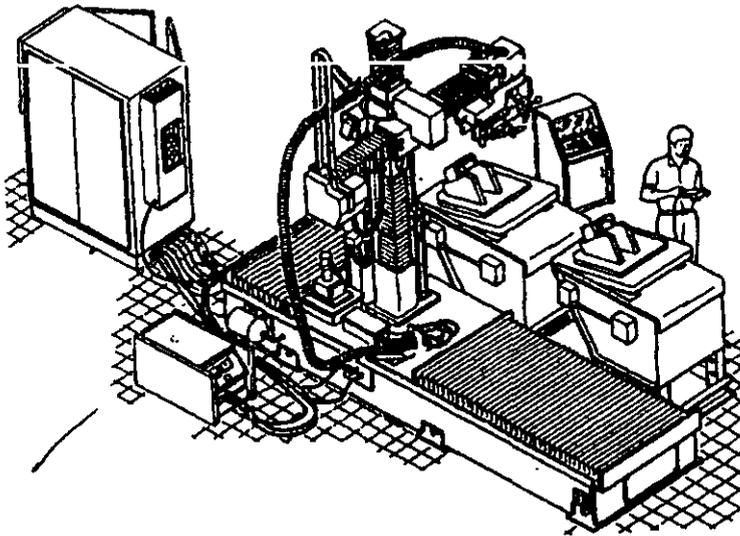


Figura 3.4. Célula de soldadura por arco con robot³.

3.3.3 PINTURA

Una aplicación más común es en el esmaltado de lavabos, una banda transportadora que se carga en forma manual, se hace girar bajo el control de la computadora del robot. En la zona de pintura el robot tiene control sobre una mesa que gira 180° para tener acceso a ambos lados de cada pieza de trabajo. El área para pintar está protegida por una cabina de rociado que tiene dos propósitos: los operadores quedan protegidos contra el rocío del esmalte y el esmalte que no se queda en las partes se recolecta y se recicla. En esta aplicación, el robot es una máquina impulsada por medios hidráulicos; está construido específicamente para aplicaciones de recubrimiento de superficies.

³ Industrial Robotic pág. 441 Noel - Odrey

Esto es común en el campo de la pintura, en donde ni la capacidad para transporte de cargas y ni la precisión de un robot para fines generales son tan necesarias.

Aún así, los robots para pintura deben contar, además de la enseñanza directa, con un gran alcance y con la habilidad para sincronizar sus movimientos con los de la banda transportadora. Las carrocerías automotrices de distintos diseños llegan al azar, colgadas de una balda transportadora suspendida en movimiento constante.

Antes que nada, un sistema de visión artificial identifica cada parte y comunica la información a una computadora central, de supervisión; ésta carga el programa adecuado en cada robot. Debido a que cada programa individual de pintura se enseña al robot sobre un modelo estático, es necesario seguir el movimiento de la línea, dado que ésta no se mueve a una velocidad precisa; además, es necesario modificar el programa para seguir la parte. Debe notarse que toda la operación de pintar está contenida en una gran cabina de pintura que protege a los operadores contra la pintura rociada y facilita el reciclamiento del material de pintado.

El material para pintar puede ser un rocío líquido o en polvo; si el rocío cuenta con la carga electrostática se facilita la adherencia a la parte si ésta se conecta a una tierra eléctrica; con esto se reduce el desperdicio de material rociado aproximadamente un 5%.

La pintura industrial, principalmente en la industria automotriz y de los electrodomésticos, es una de las aplicaciones en que los robots liberan al hombre de un trabajo en condiciones verdaderamente incómodas. Estas son resultado de los gases y aerosoles que se producen en el pintado con la pistola, así como el ruido generado por el aire comprimido que se utiliza como propulsor. En consecuencia, la necesidad de llevar máscara, traje especial aislante y

dispositivos protectores contra el ruido, hace que una jornada de trabajo sea extraordinariamente dura. Por ello, la pintura se ha convertido en uno de los campos de interés más típicos para la robótica.

La utilización de los robots para efectuar las operaciones de acabado al spray proporcionan una serie de ventajas importantes. Estas ventajas incluyen:

1. Eliminación de operarios de entornos peligrosos.
2. Menor gasto de energía.
3. Consistencia del acabado.
4. Uso reducido del material de recubrimiento.
5. Mayor productividad.

La eliminación de los operarios humanos de las clases de riesgo que caracterizan el entorno del acabado al spray manual (por ejemplo, humos, peligros de fuego, etc.) es un beneficio de salud significativo al utilizar robots.

También porque los humanos no están en las cabinas, se reducen los requisitos de ventilación por debajo de los niveles necesitados cuando están presentes los operarios humanos. Por tanto, se necesita menos energía para controlar el entorno.

Un ejemplo de célula robótica de alta tecnología de pintura al spray se ilustran en la Figura 3.5.

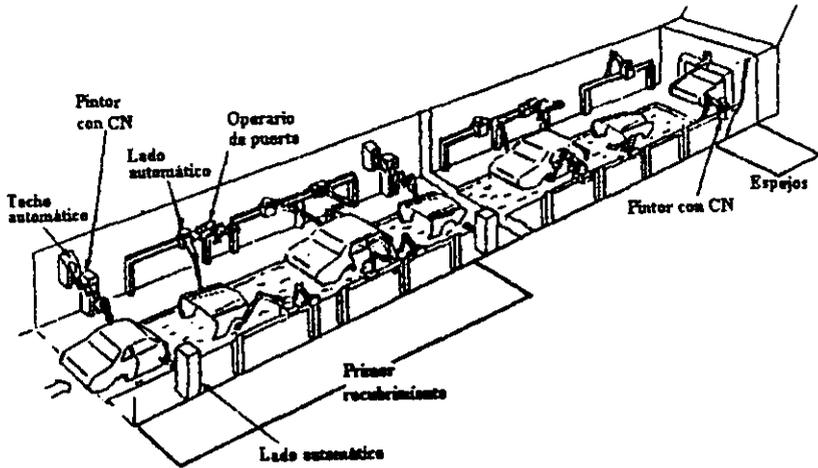


Figura 3.5 configuración típica de la célula de pintura al spray de G.M. ⁴

La complejidad y la variedad de las posiciones que se requieren para pintar una superficie de geometría complicada hacen que los robots de aprendizaje sean, hoy en día, los más utilizados en dicha labor.

Como precauciones elementales citaremos la adecuada protección de robot, mediante una funda hermética, para aislarlo del ambiente agresivo, así como un especial cuidado en su instalación, para eliminar toda posibilidad de generación de chispas dentro de la atmósfera inflamable que reina en el interior de la cabina de pintura.

⁴ Industrial Robotic Pag. 453 Nagel-odrey

Por último, diremos que hoy en día se están haciendo ensayos, algunos de ellos ya muy avanzados, para aplicar robots de pintura dotados de visión. En la Figura 3.6 se ilustran un ejemplo de este proceso.

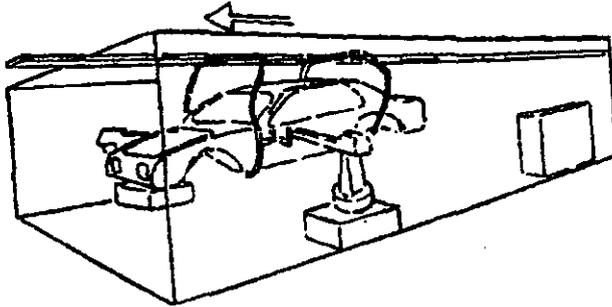


Figura 3.6. Cabina para pintar automóviles mediante rocío por medio de robots en una banda transportadora con movimiento constante e identificación de partes.

3.3.4 ENSAMBLAJE

Aun cuando no se trata de la aplicación más común de los robots, las operaciones de ensamblaje, dada su elevación con mayor potencial de desarrollo.

El ensamble manual se clasifica con frecuencia como una operación “no calificada”, pero en lo que respecta al empleo de robots, es una operación complicada ya que requiere retroalimentación generada por sensores.

Los robots de la primera generación no tuvieron mucho impacto sobre la automatización de las operaciones de ensamble, pero las máquinas más recientes, con su gran precisión y mejor acondicionadas para procesar datos generados por sensores, están remediando esta situación.

En la Figura 3.7 se ilustra el proceso de ensamblaje.

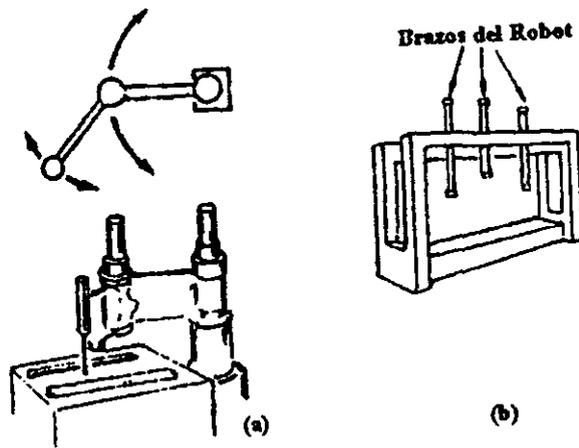


Figura 3.7 Configuración de robots para ensamblaje: a) manipulador SCARA, b) sistema de brazos múltiples suspendidos.

3.3.5 FORJA

Una de las características de los robots que hace más interesante su utilización en forma es la capacidad para trabajar correctamente en ambientes hostiles al ser humano, durante largos periodos de tiempo.

Si se utilizan operarios en las labores de forja, es preciso dotarles de un manipulador que les permita manejar las piezas pesadas y a elevada temperatura. Esto no es necesario cuando se utilizan robots preparados para grandes cargas y con una mano de sujeción o manipulador diseñado especialmente, de acuerdo a la aplicación.

3.3.6 FUNDICIÓN

Los robots son muy utilizados, sobre todo, en las instalaciones de fundición inyectada y, de forma especial, en la industria automotriz. Su misión fundamental es la descarga de piezas fundidas, así como el corte de metal sobrante y la eliminación de las rebabas.

La influencia de los robots en la efectividad aumenta entre un 30% y un 40%, además, los gastos de mantenimiento se reducen y lo que es importante, se ha observado una disminución del ausentismo laboral del personal de estas instalaciones. Su explicación se encuentra, sin duda, en las condiciones tan nocivas de trabajo existentes en una instalación tradicional, mientras que en una automatizada, los robots realizan la parte más ingrata.

3.3.7 MECANIZADO

Existen una serie de aplicaciones de robots que utilizan alguna forma de herramienta especializada como efecto final. Operaciones que están en esta categoría incluyen:

Taladro, acanalado y otras operaciones de mecanizado.

Rectificado, pulido, desbarbado, cepillado y operaciones similares.

Remachado.

Corte por chorro de agua.

Taladro y corte por láser.

ESTA TESTS NO DEBE
PARIR DE LA BIBLIOTECA

En la Figura 3.8 se ilustra una célula de taladrado y marcado.

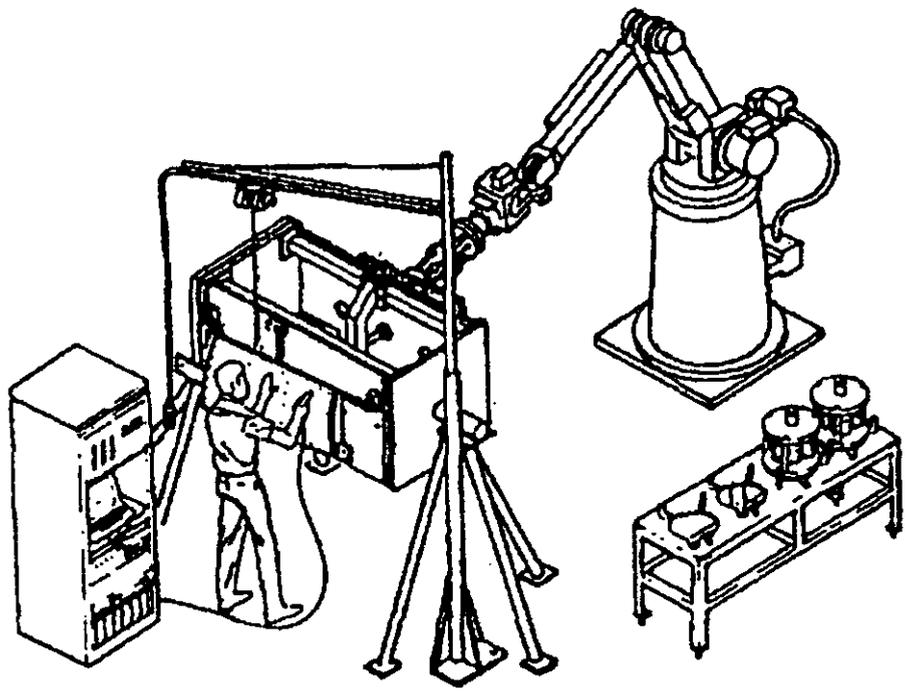


Figura 3.8 Diagrama de la célula de taladrado y marcado desarrollado bajo el patrocinio de ICAM de las fuerzas aéreas.

3.4 EJEMPLOS DE APLICACIONES EN ALGUNAS INDUSTRIAS

El transporte de piezas, a menudo pesadas, están a la cabeza de forma destacada. Existen en el mercado robots capaces de transportar cargas que van de algunos kilogramos a 1 tonelada (robot manipulador ANDROMAT).

En su fábrica de Cléon, por ejemplo, Renault utiliza un robot RENAULT-ACMA para descargar paletas de 800 cigüeñales en una cinta transportadora. Cada pieza pesa 12 kilogramos. La operación dura 45 minutos por paleta. Antes de la introducción del robot había falta tres personas que manipulaban cotidianamente varias toneladas de meta. En Caterpillar, de la misma manera, la paletización de elementos de orugas (80 Kg) está completamente robotizadas. A veces, el ambiente es muy hostil como en las fundiciones y fraguas. Allí, el robot es convertido en esclavo para el mantenimiento e piezas a alta temperatura, sobre todo en las operaciones de estampación.

La carga/descarga de máquinas - herramienta es otro campo de utilización de robots, sobre todo en el caso de tornos automáticos. En Caterpillar, en su fábrica de Péoria, un robot CINCINATI MILACRON T3 sincroniza la carga y descarga de otros tornos.

La soldadura es asimismo una tarea penosa para el hombre y repetitiva. Es un campo en el que el robot es muy utilizado y donde con toda seguridad lo será cada vez más, debido a los progresos realizados con los captadores.

En nuestros días, la técnica de la soldadura por puntos es bien conocida. Las aplicaciones son numerosas especialmente en la industria automotriz.

La soldadura continua por arco es un operación mucho más delicada, siendo el principal problema el seguimiento de la unión y la elección de captadores que pueden funcionar correctamente en presencia del arco de soldadura.

El mercado de la soldadura continua parece tener un gran futuro. Ciertos constructores de robot presentan modelos únicamente destinados a esta operación. Es el caso de General Electric con su modelo AW7, de Westinghouse con el W 7000 o de GKN Lincoln Electric Ltd. Con su Linc-Man.

Otro campo en el que la introducción de los robots parece prometedora es el del ensamblado.

Por otra parte, hay el ensamblado de tarjetas de circuitos impresos que requiere la inserción automática de componentes y por otra parte, hay el ensamblado de pequeños mecanismos. El ensamblado mecánico, los anteproyectos de laboratorio han desembocado en aplicaciones industriales. General Electric ensambla cajas de bornes de conexión en plástico con un UNIMATION PUMA. IBM utiliza un robot desarrollado por ella misma, para hacer el ensamblado de teclados de máquinas de escribir y posicionar la cinta entintada a lo largo del camino en el mecanismo de impresión. En su fábrica de Tokio, Sony ha instalado una cadena par el ensamblado del mecanismo de accionamiento de los "Walkman" producidos por esta firma. Las piezas a ensamblar están dispuestas en platos de materia plástica dotados de tetones para el posicionado de las piezas y de pequeños "almacenes" para su apilado. El plato está dividido en zonas de trabajo en las que tienen lugar los diferentes ensamblados de piezas, en un total de 48. Los platos están dispuestos sobre tablas XY que se posicionan bajo las herramientas (precisión: 15u). Así, hay varias estaciones: atornillado, engrasado, recogida y posicionado, etc. La unidad es capaz de producir 200 000 mecanismos por mes.

En el campo de la pintura, el robot no parece haber hecho una incursión espectacular. Y sin embargo estas operaciones son penosas y nocivas. De todas formas, en el mercado existen cierto número de máquinas concebidas únicamente para la proyección de pintura. Renault utiliza su modelo RENAULT-ACMA P7 con

7 g.d.l., para la pintura de las carrocerías de vehículos A.K.R., general Electric con su modelo S6,... propone equipos para este tipo de aplicación. Caterpillar ha equipado un robot TRALFA para pintar por partes sus máquinas de obras públicas.

3.4.1 ROBOTS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

La industria de la construcción representa una oportunidad interesante para aplicar la tecnología robótica porque también se basa en gran medida en el uso de mano de obra manual.

Existen tres características respecto a las operaciones de fabricación que han hecho que los robots sean fáciles de aplicar:

1. Muchas de las operaciones donde los robots han sustituido a la mano de obra humana son arriesgadas, estas características han promovido la aceptación de los robots en la fabricación por parte de los operativos.
2. Las operaciones de producción se pueden realizar en una disposición de trabajo simple.
3. Las tareas son altamente en grados variables en el sector de la construcción.

En algunos de los trabajos de construcción pueden considerarse repetitivos, por ejemplo cavar zanjas, poner ladrillos, retejar tejados, etc., Estas tareas requieren una repetición de los ciclos de movimiento que son muy similares, pero la localización del trabajo esta siempre cambiando, y esto requiere una traslación de la estructura de movimiento en el espacio con cada nuevo ciclo.

Otra razón de por qué el trabajo de la construcción es una posibilidad interesante para la aplicación de la robótica es que muchas máquinas de

construcción común utilizan mecanismos similares a los utilizados. Mordazas, cargadores frontales y ciertas grúas de construcción reflejan estas similitudes con sus manipuladores y garras operados hidráulicamente.

La resolución del problema de la movilidad del robot se podría hacer basándose en las máquinas de construcción identificadas anteriormente. Para los robots que efectúan operaciones de excavación, se podrían utilizar grandes ruedas para moverse alrededor del suelo de la construcción, con palas operadas hidráulicamente para estabilizar al robot en cada posición. Para cavar grandes zanjas, el robot se movería a través de una serie de posiciones que forman la línea de la zanja, con un movimiento cíclico similar repetitivo en cada posición para cavar la sección de la zanja. Para conseguir que el robot siga la línea de zanja correcta y efectúe la cantidad adecuada de excavación en cada sección, sin ninguna ayuda humana, se necesitaría de una combinación de programación avanzada, tecnología de sensores e inteligencia artificial que va mas allá del estado del arte actual en robótica.

Para realizar trabajos internos en un edificio durante la construcción, se necesitaría en el diseño del robot una anatomía enteramente diferente.

Quizá en este caso el método óptimo de resolver el problema de la movilidad sería utilizar un pedipulador. Se podría diseñar un robot andante que subiría por una escalera, así como se movería a través de un piso plano. Otro problema en el diseño de un robot de construcción. Para un robot de la construcción tecnológicamente sofisticado, esto podría necesitar un simple cambio de los efectores finales. La capacidad de utilizar de forma efectiva todas estas herramientas es otra vez un problema en programación avanzada, tecnología de sensores e inteligencia artificial.

3.4.2 MINERÍA DEL CARBÓN SUBTERRÁNEA

Entre las ocupaciones industriales, la minería del carbón subterránea es una de las tareas más peligrosas e insalubres que los humanos pueden hacer. Las fuentes más peligrosas incluyen fuegos, explosiones, gases venenosos, grutas e inundaciones subterráneas.

El problema de extraer el carbón de la tierra, de forma que no coloque a los trabajadores en riesgos indebidos para sus vidas, es uno que podría resolverse mediante el uso de la tecnología robótica.

La complejidad mecánica, de las tareas a realizar es apropiada para la tecnología robótica, no obstante, otra vez los sensores, la programación, y los registros de inteligencia van algo más allá del estado del arte disponible. Para ser totalmente automático, el robot del túnel tendría que ser capaz de moverse hacia adelante en la mina cuando prosigue la excavación. Por tanto, se tendría que diseñar en la máquina una cierta movilidad, probablemente por medio de cadenas de tanques.

El perfil del túnel (tanto en términos de la dirección en la superficie de la misma hacia adelante y de la forma de la apertura a realizar) se podría colocar en la memoria del robot. Un sistema de visión sería el probable sistema sensorial para determinar cómo está progresando el corte y para guiar al robot en sus operaciones de excavación. El entorno polvoriento de la mina como resultado del proceso de excavación presenta un problema en la fiabilidad mecánica, y el diseño de la máquina tendría que tener en cuenta este problema.

También las grandes fuerzas encontradas durante el proceso de taladrado se añadirían al desgaste y rotura de la máquina.

Periódicamente cuando el túnel se perforara, se tendría que construir un techo de soporte y los sistemas transportadores tendrían que extenderse hacia adelante dentro de la mina abierta. Estas tareas pueden todavía realizarse por trabajadores humanos, alternativamente por Robots de construcción sofisticados equipados para tales trabajos.

La complejidad técnica de la operación de minería del carbón descrita anteriormente plantea un problema difícil al diseñador del robot de minería que debe trabajar independientemente de la asistencia humana. Sin embargo, dado que existirá una demanda comercial para el carbón también en el próximo siglo y de que hay aproximadamente 150.000 trabajadores en minas de carbón subterráneas, la necesidad de tal máquina es grande en los Estados Unidos.

3.4.3 APLICACIONES DE LA ROBÓTICA EN FORD MÉXICO

Con la idea de mantener el liderazgo en la calidad de sus productos, Ford Motor Company, S.A. de C.V., ha instalado robots en sus plantas de ensamble de Hermosillo y Cuautitlán. La de Hermosillo es una planta que se diseñó desde el inicio de sus operaciones con el concepto de robótica industrial, acorde a sus altos volúmenes de producción, el reducido número de líneas y modelo de vehículos y la alta calidad de los mismos. Actualmente esta planta cuenta con 117 robots en operación en su línea de carrocerías, 6 en su planta de pintura y 2 en línea final.

Esta robotización y su organización social de trabajo, le han permitido a dicha planta ser una de las más eficientes y de más alta calidad en el mundo; en opinión de investigación del M.I.T⁵.

Por su parte, en las instalaciones de Cuautitlán, cuyos volúmenes son inferiores a los de la planta de Hermosillo, pero con una gran complejidad de operación por su diversidad de línea y modelos, se han instalado robots solamente

⁵ Revista Robótica Industrial IEEE Control System Society feb-94. Pags. 12-17.

en aquellas operaciones que por el crecimiento de la planta y para asegurar la calidad del producto han sido necesarias, como es el caso de la línea de carrocerías, que cuenta con 4 robots en operación, estando actualmente en proceso de instalación 1 en vestiduras y 6 en la planta de pintura, y en procesos de compra 13 para carrocerías, 4 para pintura y 2 en línea de vestidura.

3.5 APLICACIONES CONSOLIDADAS DE ROBOTS

Sería conveniente crear un banco de datos informatizado para facilitar el manejo de dicha información, con al menos dos entradas, por tipo de industria o servicio y por naturaleza de la tarea. En este momento existen ya varios millares de resúmenes.

Se han resumido en un índice, las principales aplicaciones consolidadas citando algunos de los robots.

3.5.1 POR TIPO DE INDUSTRIA

1. Labores de manufactura

En la siguiente tabla a la izquierda se representan las industrias donde se realizan las aplicaciones citadas a la derecha.

INDUSTRIAS	APLICACIONES
Fundición por inyección	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alimentar metal fundido (manipulador) ➤ Colocar insertos en moldes. ➤ Engrasar moldes con pulverizador. ➤ Descargar de piezas fundidas. Bebederos

Fundición por microfundición (cera perdida)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inmersión y rotación de racimos dentro de la pasta refractaria.
Fundición por gravedad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alimentar caldo a moldes (ruedas de aluminio para coches). ➤ Engrasar moldes con pulverizador. ➤ Limpiar superficies con chorro de arena o granalla metálica. ➤ Corte de bebederos con soplete. ➤ Desbaratar con amoladora.
Forjas	<p>Cargar y descargar de prensas.</p> <p>Células para soldar y cerrar eslabones de cadenas.</p>
Automóviles	<ul style="list-style-type: none"> □ Fundición inyectada □ Carga-descarga de máquinas: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Prensas ➤ Tornos ➤ Dentadoras ➤ Transfers de mecanizado ➤ Rectificadoras ➤ Marcar piezas con láser □ Soldar por puntos (carrocerías). □ Sellar con adhesivos. □ Cortar con agua a presión fieltros y goma espuma. □ Pintar con pistola. □ Montar salpicadero. □ Montar ruedas. □ Montar conjunto culata. □ Montar parabrisas. □ Control fugas de agua (parabrisas).

Motos	<input type="checkbox"/> Soldar cuadros al arco. <input type="checkbox"/> Soldar por puntos.
Electrodomésticos	<input type="checkbox"/> inyectar piezas de aleaciones de aluminio o cinc. <input type="checkbox"/> Soldar por puntos. <input type="checkbox"/> Soldar por arco. <input type="checkbox"/> Cargar-descargar de máquinas. <input type="checkbox"/> Pintar con pistola. <input type="checkbox"/> Montar subconjuntos.
Motores eléctricos	<input type="checkbox"/> Inyectar rotores <input type="checkbox"/> Cargar-descargar de máquinas. <input type="checkbox"/> Montaje.
Aparatos electrónicos	<input type="checkbox"/> Montaje de componentes en cartas. <input type="checkbox"/> Montaje de teclados. <input type="checkbox"/> Montaje de subconjuntos mecánicos.
Aeronáutica	<input type="checkbox"/> Microfusión de álabes para turbinas. <input type="checkbox"/> Taladros de chapas. <input type="checkbox"/> Pulido de morros de aviones (plástico). <input type="checkbox"/> Control de calidad de piezas de composites (con ultrasonidos)
Bienes de equipo	<input type="checkbox"/> Carga –descarga de máquinas. <input type="checkbox"/> Soldadura al arco.
Astilleros	<input type="checkbox"/> Soldadura al arco.
Plástico (inyección)	<input type="checkbox"/> Colocación de insertos en moldes. <input type="checkbox"/> Descargas de piezas en máquinas de inyectar. <input type="checkbox"/> Rebarbado. <input type="checkbox"/> Paletizado. <input type="checkbox"/> Fabricación de flores artificiales (España).

Confección	<input type="checkbox"/> Cortar perfiles <input type="checkbox"/> Coser
Zapatos	<input type="checkbox"/> Cortar perfiles.
Cerámica	<input type="checkbox"/> Paletizar. <input type="checkbox"/> Descarga de presas (ladrillos refractarios grandes). <input type="checkbox"/> Recubrir.
Vidrio	<input type="checkbox"/> Transporte de vidrios planos. <input type="checkbox"/> Alimentación máquinas biselar. <input type="checkbox"/> Transporte tubos televisores. <input type="checkbox"/> Transporte tubos fluorescentes.
Madera y muebles	<input type="checkbox"/> Lijar. <input type="checkbox"/> Barnizar <input type="checkbox"/> Pintar
Construcción Obras civiles	<input type="checkbox"/> Ignifugar estructuras metálicas (con pistola). <input type="checkbox"/> Recubrir superficies de túneles. <input type="checkbox"/> Nivelar suelos marinos (Japón).
Minería	Colocación de pantallas protectoras (Canadá).
Alimentación	<input type="checkbox"/> Raspado de quesos <input type="checkbox"/> Paletizar
Pastelería	<input type="checkbox"/> Decoración de pasteles. <input type="checkbox"/> Encajar bombones.
Laboratorios	<input type="checkbox"/> Preparación de muestras.
Mataderos	<input type="checkbox"/> Limpiar reses colgadas con chorro de agua.
Ganadería	Esquilar corderos.
Agricultura	<input type="checkbox"/> Recolección de frutas (facilidad de alcance).

	<input type="checkbox"/> Recolección de tomates (sólo los maduros).
Laboratorios	<input type="checkbox"/> Preparación de muestras.

2. Labores de mantenimiento

INDUSTRIAS	APLICACIONES
Ferrocarriles F. Metropolitano	Lavar exterior de los vagones o coches (F)
Autobuses	Poner gasolina (F)
Barcos	Desincrustar quillas (Japón). Desmontar remaches (desguace) (Japón).
Depósitos esféricos para gases	Pintar exterior (Japón). Controlar.
Centrales atómicas	Operar en el interior de zonas peligrosas (EE.UU., Japón, Francia).
Espacio exterior	Recogida de muestras en la Luna o planetas (EE.UU.; RUSIA). Colocación de satélites desde la lanzadera espacial. Recogida de satélites muertos o averiados.

3.5.2 POR NATURALEZA DE LA TAREA

• MANUFACTURA Y MANUTENCIÓN

- Fundición inyectada de aleaciones de aluminio y cinc.
- Forja.
- Modelo de piezas de plástico por inyección.

- Fusión a la cera perdida (Microfusión).
- Fundición en cáscara (shell moulding).
- Fundición en coque (ruedas coche de alineación ligera).
- Tratamiento térmico (engranajes para automóviles).

- **SOLDADURA**

- Por puntos (automóviles, muebles metálicos).
- Al arco (motos).
- Por plasma (dar puntadas, en piezas a soldar en horno).
- Con láser (cartas electrónicas).

- **CARGA Y DESCARGA DE MÁQUINAS-HERRAMIENTA**

- Prensas.
- Transfers circulares y lineales de mecanizado.
- Centros CN (con AGV).
- Máquinas de inyectar plásticos.

- **CORTE DE CHAPAS, MADERAS, TEJIDOS Y FIELTROS**

- Con láser.
- Con agua a presión.
- Con soplete.

- **ELIMINAR REBABAS**

- Con soplete.
- Con agua a presión, con abrasivo incorporado.

- **EN PIEZAS MECANIZADAS**

- Con fresolín.
- Con muela.
- Con tela esmeril (librillos multihojas radiales).
- Con cepillos metálicos o de plásticos con abrasivos.
- Con broca (en agujeros).

- **APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS CON PISTOLA**

- Pintar automóviles, muebles metálicos, electrodomésticos.
- Aplicar metales pulverizados (en caliente).
- Ignifugar estructuras metálicas de edificios.
- Limpiar superficies, con chorros de agua, arena, bolas de cristal o granalla metálica.
- Aplicar recubrimientos cerámicos, (turbinas).
- Aplicar sellantes y adhesivos (automóviles y aeronáutica).

- **MONTAJE**

- Cartas con componentes electrónicos.
 - Insertados: con 5 garras resolver y 5 sufridoras debajo (resolver).
 - Montaje de superficie: soldar con láser.
- Inserción de piezas con ajustes de precisión (con acomodación activa).
- Montar salpicaderos de coches. (GM, Canadá).
- Montar teclados de ordenadores, variando la composición para idiomas diferentes, en una línea común. (IBM, Escocia).

• MEDICIÓN Y CLASIFICACIÓN

- Medición según programas y registrando desviaciones (paletas, turbinas).
- Mediación atenuación ultrasonidos en control de efectos alas de avión (aerospacial).
- Separando piezas por familias (compresores herméticos).

3.5.3 ALGUNAS APLICACIONES CONSOLIDADAS CON EMPLEO DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

El esfuerzo realizado en este sentido en el ámbito de universidad y por parte de algunos fabricantes ha sido notable, pero las aplicaciones en la industria son relativamente pocas todavía.

Hay que dirigir entre el empleo de la visión artificial para la inspección de piezas y su aplicación al control de la acción de los robots.

Veamos algunas aplicaciones prácticas del segundo caso:

General Motors (1982): 3 robots Cincinnati Milacron recogiendo 6 piezas distintas fundidas y granalladas, que pasan por una cinta continua al ritmo de 1200 piezas/hora y colocándolas en 6 conectores, 2 al alcance de cada robot. Ritmo máximo: 1400 piezas/hora.

Dos Robots PUMA

Régie Renault, Lyon (Francia 1982): Despaletizado automático de cigüeñales (lleva además de cámara de televisión, un sonar, dos células fotoeléctricas y varios sensores inductivos) coge los cigüeñales desde el palet y los coloca en la cadena del transfer de mecanizado. Los cigüeñales están apilados

en posiciones regulares, pero con varios niveles y cruzados los ejes 90° a cada nivel. El cigüeñal pesa 12 Kg, 180 piezas/hora. Cada palet 108 cigüeñales (1400x 11000 mm).

Haden Drysys Internacional, U.K.: Pistola de pintar de movimiento alternativo que sigue la pieza que se desplaza en un conveyor de movimiento uniforme. Las órdenes de apertura y cierre de la pistola se dan mediante un retraso, y ello permite ver bien la pieza sobre un fondo negro, antes de llegar a la pistola. Se almacenan en memoria las órdenes y éstas actúan cuando la pieza está frente a la pistola.

ISIR/87 Pág. 4-19 a 4-31.

Texas Instruments: Sistemas de guía de un misil naval. Un robot pone pegamento epoxy en los cuatro cantos de un cuadro de un circuito de microondas. Lleva una ayuda óptica para colocar el pegamento en los huecos situados en los cuatro vértices.

FORD ALMUSAFES (Robot cartesiano de Pianelli-Traversal)

Despaletizado de disco de freno en bruto: Los discos de freno en bruto llegan dentro de conectores, aunque no totalmente desordenados, sino apilados en posición horizontal.

Una cámara tomavista inspecciona el contenedor y previa localización del centro de un disco, da órdenes adecuadas para situar la pinza en condiciones de agarrar el disco, transportarlo y colocarlo en la cinta de transporte para alimentación de la línea.

G.M. DETROIT. Sellado de carrocerías de automóviles centrados ópticamente: La carrocería llega colgada en un conveyor aéreo.

Aún cuando se emplea la cadena, *power and free*, es decir, con la pieza parada, en el momento de efectuar la operación de señal, la precisión de la posición de la carrocería respecto al suelo es baja, del orden de ± 75 mm.

3.6 ROBOTS EXPERIMENTALES

- El jugador de ajedrez (EE.UU.; Japón).
- El jugador de ping-pong (Toshiba).
- El robot que toca el órgano (exposición de Tsukaba).
- Robots que andan con dos patas (Hitachi).
- El jugador de billar, modalidad («snooker» Universidad de Bristol).
- El robot vigilante para prisiones, almacenes, fábricas y oficinas (en horas en que no hay personal).

3.7 APARATOS EN ESTADO DE DESARROLLO

- Limpia-cristales para edificios altos, con locomoción (Japón; EE.UU.).
- Aparatos para cortar césped (sin conductor).
- Aparatos para pintar e inspeccionar depósitos esféricos para gases (con locomoción) (Japón; EE.UU.).
- Aparatos para desatascar tuberías con capacidad de cambio brusco de dirección (Japón).
- Vehículos guiados automáticamente para servir comidas a los enfermos. (Japón; EE.UU.).
- Vehículos para barrer y fregar suelos, sin conductor. (Japón).
- El robot de 6 patas (insecto) para control en plantas atómicas (EE.UU.).

3.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS TAREAS DEL ROBOT DEL FUTURO

En la siguiente tabla se muestran las tareas que pueden hacer los robots de hoy día y que pueden ser capaces de realizar en el futuro.

<i>Cosas presentes (o pasadas) que pueden hacer los robots</i>	<i>Cosas que la próxima generación de robots serán capaces de hacer</i>	<i>Cosas que un robot muy sofisticado del futuro puede ser capaz de hacer</i>	<i>Cosas que ningún robot será capaz de hacer (probablemente)</i>
Tocar el piano	Vaciar un tapete (enviando obstrucciones)	Poner una mesa	Cortar un diamante
Cortar trajes con un rayo láser	Caminar sobre dos patas.	Caminar sobre dos patas.	Remendar un agujero en un calcetín/jersey.
Cargar/descargar máquinas de fundición en troquel, máquinas de forjado, máquinas de moldeado, etc.	Ensamblar grandes y/o piezas complejas,		
Pintar al spray en una línea de montaje	Operar máquinas de carpintería	Cargar un lavaplatos	Reparar una silla o un plato roto

<i>Cosas presentes (o pasadas) que pueden hacer los robots</i>	<i>Cosas que la próxima generación de robots serán capaces de hacer</i>	<i>Cosas que un robot muy sofisticado del futuro puede ser capaz de hacer</i>	<i>Cosas que ningún robot será capaz de hacer (probablemente)</i>
Hacer moldes	Afeitar ovejas	Soldar una fundición/forja agrietada	Jugar al tenis o al ping-pong a nivel de campeón
		Hacer puntos para un jersey	Montar una bicicleta en tráfico
Desbarbar matrices de arena	Limpiar ventanas	Hacer una cama	Parar un balón de fútbol a nivel de campeonato
		Hacer el diseño de un bordado	Arboricultura
Ensamblar piezas eléctricas y mecánicas simples: pequeños motores eléctricos, bombas, transformadores, radios, grabadoras de cintas.	Limpieza de una pared con chorros de arena	Poner una llave	Bailar ballet
		Hacer un lazo	Reparar un cuadro dañado

<i>Cosas presentes (o pasadas) que pueden hacer los robots</i>	<i>Cosas que la próxima generación de robots serán capaces de hacer</i>	<i>Cosas que un robot muy sofisticado del futuro puede ser capaz de hacer</i>	<i>Cosas que ningún robot será capaz de hacer (probablemente)</i>
		Hacer juegos de manos con bolas	Pelar una uva
		Engrasar una máquina de minería continua o un equipo o similar	Ensamblar el esqueleto de un dinosaurio
		Realizar un salto mortal	
		Poner a punto un coche	Cortar el pelo elegantemente
		Hacer un troquel de forjado a partir de polvo de metal.	Fijar una fractura múltiple
		Cargar ladrillos en línea recta	Eliminar un apéndice
		Cambiar una rueda	Tocar el violín
		Operar un tractor o cosecha en un campo plano	Tallar madera o mármol
		Poner gasolina	Construir un muro de piedra
		Reparar una picadura	Pintar un cuadro con un pincel
		Recoger fruta	Limpiar con chorro de arena una catedral

			Construir o reparar vidrierías plomadas
			Coger a un niño
			Cortar y trincar carne

Algunas de las características importantes de las tareas del robot del futuro que las distinguirían de las aplicaciones típicas de hoy en día son las siguientes:

1. Las tareas serán más complicadas, además de las tareas repetitivas los robots efectuarán operaciones semirepetitivas e incluso no repetitivas.
2. Necesitarán niveles superiores de inteligencia y de capacidad de toma de decisiones por parte del robot. Se incorporaran los avances en el campo de la inteligencia artificial en el diseño de los reguladores de robot.
3. Algunos de los trabajadores necesitarán "movilidad robusta", la capacidad de moverse alrededor del área de trabajo sin necesitar raíces y comunicación por voz.
4. Muchas de las tareas del futuro realizadas por robots necesitarán un nivel más elevado de tecnología del efector final. Los requisitos para la articulación de la mano y las capacidades sensoriales táctiles serán muy superiores a los dispositivos de pinza de hoy en día. El concepto de la mano universal estará mucho más cerca de la realidad.
5. La mayor variedad de aplicaciones de robots necesitarán que la anatomía de este se haga mas especializada y diferenciada de acuerdo con las aplicaciones. La configuración física del robot se diseñara con el objetivo al que se supone que va a servir el robot. La economía de esta especialización se mejorará mediante la utilización de técnicas, tales como la automatización flexible, construcción modularizada y estandarización de componentes.
6. Las tareas que se efectúan en entornos inaccesibles requerirán mejoras significativas en la fiabilidad del robot a causa de la dificultad en mantener y

reparar la máquina. Las mejoras de fiabilidad se incorporan también en los diseños del robot que no se utilizan en esta clase de entornos.

7. Los entornos inaccesibles pueden necesitar la utilización de una capacidad de presencia, de manera que los humanos puedan dar instrucciones al robot durante el trabajo.

3.9 CONSIDERACIONES EN LA IMPLANTACIÓN DE ROBOTS

Aunque tuviéramos la certidumbre de que automatizar a fondo es el camino correcto hacia el futuro, no por ello será fácil recorrerlo.

- En primer lugar, automatizar resulta caro; en segundo lugar, hay que asegurar que sea practicable el ahorro para la reducción de la mano de obra, si este es el criterio que nos impulsa prioritariamente y en tercer lugar, el abanico inmenso de posibilidades puede que nos sumerja en un mar de dudas.

En un país como el nuestro, donde la rigidez del mercado del trabajo es notoria, puede resultar peligroso basar el entorno de la inversión en el ahorro de mano de obra, ya que en nuestras ventas no aumentan al ritmo que ésta va dejando de ser necesaria, puede que no ahorremos nada. El camino de los despidos puede llegar a representar una medida de indemnización de 6 millones de pesetas por persona, en fabricas que llevan muchos años funcionando y esta carga hay que añadirla al calculo de la rentabilidad. Pero los despidos pueden provocar conflictos, con los que las pérdidas pueden ser aún mayores.

Para compañías con oficinas técnicas poco potentes, el tercer supuesto puede obligarlas a recurrir a ingeniarías especializadas. Este tipo de Ingeniarías está en franca expansión en España y su ayuda puede resultar benéfica en dicho caso.

3.9.1 ESTRATEGIA GENERAL

Al automatizar acostumbran a contemplarse las dos siguientes posibilidades:

1. Avance radical
 - Modificando el producto
 - Modificando el proceso
 - Modificando la implantación y medios de transporte
 - Informatizando el control del proceso

2. Avance moderado
 - Automatizando máquinas existentes
 - Añadiendo ciertos controles informatizados

1. AVANCE RADICAL

Sin que la siguiente exposición pretenda ser exhaustiva, veamos cuantas opciones se nos presentan. Algunas de ellas opuestas entre sí:

Modificando el producto

Supongamos que fabricamos un producto con una extensa gama de tamaños.

Podemos actuar en sentidos opuestos:

Fraccionar más la extensión de la gama intercalando más modelos: se ahorra material, pero se aumenta el número de piezas, por tanto de líneas, y baja la magnitud de la serie.

- Ensanchar la expansión de la gama disminuyendo el número de modelos: se incrementa la serie, pero se pierde material, y prestaciones en los extremos de la gama.

- Cambiar el diseño de las piezas, para pasar procesos más simples. Introducir piezas sintetizadas, formación en frío, plásticos, etc.
- Disminuir el número de piezas que forman el conjunto, para simplificar el montaje.

Modificando el proceso

- Integrar más operaciones en una sola máquina. (transfers más largos, con lo que desaparecen operaciones de carga y descarga).

- Desintegrar operaciones, pasando a máquinas más simples, pero todas con carga automática.

- Emplear máquinas más flexibles, que permitan pasar más piezas algo distintas por la misma línea, con una preparación relativamente rápida.

- Emplear cadenas de montaje robotizadas y modulares.

- Emplear máquinas de montar ultra- especializadas.

Modificando la implantación y medios de transporte

Es obvio que un cambio a fondo, en los procesos, involucra un cambio en la implantación, pero además para evitar soluciones caras en la aplicación de los robots, es muy importante no perder el orden de las piezas al pasar de una máquina a la siguiente, por lo que es casi seguro que deberemos introducir

cambios notables en los medios de transporte. La regla de conseguir recorridos cortos de las piezas continúa siendo válida.

Informatizando el control del proceso

- Añadir el control dimensional automático, al 100% en todas las operaciones
- Añadir la regulación automática, de la posición de las herramientas (feedback) en función de las medidas obtenidas, en las operaciones clave.
- Añadir el control automático de las herramientas rotas.
- Suprimir la gestación humana de los datos de control de calidad, procesando directamente las medidas por ordenador, suministrando datos estadísticos.
- Suprimir el recuento de piezas, procesando la información a través de cuenta piezas automáticos, conectados a un computador central.

2. AVANCE MODERADO

Cuando la empresa no se atreve a afrontar grandes inversiones, escoge esta segunda opción; pero no por ello dejará de encontrarse ante inconvenientes de consideración.

Al equipar las máquinas- herramienta, con dispositivos de carga y descarga automática de las piezas, aparecen una serie de nuevos problemas que la tutela humana nos resolvía con suma facilidad y que ahora causarán las suficientes molestias, como para, en algún caso, obligarnos a mantener al hombre a pie de máquina; pasemos revista a los más significativos:

1. Hay que evitar los daños que puede producir la llegada de piezas defectuosas procedentes de operaciones anteriores (que ahora el robot querrá montar ciegamente, aunque falle, por ejemplo, el taladro donde tienen que entrar el

pitón de centraje; el hombre aunque estuviera algo distraído, nunca forzaría la pieza produciendo daños).

2. No colocar la pieza en una estación que presente algún defecto en el utillaje y que el operario conocía y había señalado para no emplearla. Ahora habrá que asegurar mejor que todas las estaciones estén en correctas condiciones.
3. Detectar rápidamente la rotura de la herramienta para evitar el reproceso de piezas o nuevas roturas en cadena. El hombre ve y oye, detectando anomalías con gran facilidad.
4. La regulación de herramientas cuyo desgaste influye en las medidas.
5. Cargar – descargar piezas en máquinas donde la pieza gira y ésta tiene orientación fija respecto al husillo, pero el husillo se para en una posición angular aleatoria (mecanizado de cigüeñales en tomos y rectificadoras). Ahora habrá que añadir un mecanismo que nos pare la máquina siempre en la misma posición angular.
6. Posibilidad de conexión electro– electrónica del control del robot, con el control de la máquina. Esta acción la realizaba el hombre a través de sus ojos, manos y cerebro. Ahora, sobre todo si automatizamos máquinas anticuadas, ello puede obligarnos a un cambio profundo del sistema de control eléctrico de la máquina.

Para evitar estos inconvenientes cuando queremos aprovechar máquinas existentes hay que reconstruirlas añadiendo dispositivos y sensores. Frecuentemente nos encontramos con falta de estaciones en los transfers o con la necesidad de cambios profundos en dichas máquinas.

3.9.2 LA AYUDA DE LOS SENSORES

Como respuesta a estos inconvenientes, han aparecido unos sensores que tienden a mitigarlos, y cuyas funciones podemos resumir en el cuadro siguiente:

En prensas	Medir presión de corte (para conocer el estado de la matriz)	
En Maquinas – Herramienta con levantamiento de viruta	Medir –Registrar- Procesar estadísticamente	
	Medir – corregir posición herramienta (7 métodos distintos) Medir {consumo eléctrico par} {para detectar en herramientas}	
Dispositivos para detectar	Roturas Ruidos – vibraciones	Mecánicamente Por método neumático Por célula
En montaje	Medir Fuerza (piezas montada a presión) Medir Par (tomillos, mecanismos móviles giratorios) Medir posicionamiento final	Tomillos duros (*) Tomillos con ranura excéntrica

(*) Tornillos duros.

Cuando un tornillo tiene un diámetro de flancos excesivo o la rosca corta o la pieza hembra tiene un diámetro de flancos pequeño o la profundidad de rosca corta, la máquina automática de atornillar nos dirá que el par es correcto y probablemente la cabeza del husillo no ha llegado a sujetar la pieza.

El operario consciente, detectaba este defecto y podía cambiar el tornillo o separar la pieza. Ahora hay que prever un mecanismo que cumpla esta función.

3.9.3 EL MOMENTO OPORTUNO PARA TRANSFORMAR UNA MÁQUINA O UNA LÍNEA

¿Cómo transformar una máquina o una línea que quizá estamos empleando intensamente de dos o tres turnos, sin perder producción?

Puede fácilmente ocurrirnos que, al automatizar una máquina utilizada intensamente en una línea de mecanizado, produzca paros de esta línea, que pueden llegar a repercutir en la línea de montaje, lo que puede acarrear pérdidas por un importe superior al de la misma automatización.

Todavía más problemático resulta automatizar una línea completa que esté trabajando a gran ritmo.

Es una buena estrategia efectuar los avances profundos en automatización cuando se introducen nuevos productos. Es este el momento oportuno, ya que la puesta a se efectúa durante el tiempo en que las ventas pueden retrasarse un poco o empezar a menos ritmo y aumentándolo gradualmente.

Cuando el producto que vamos a sustituir llega a un declive de ventas significativo, podemos parar la línea e intentar el reaprovechamiento de sus elementos para un nuevo producto. De no hacerlo así corremos el riesgo de provocar graves irregularidades en el suministro de productos a nuestros clientes.

3.9.4 PREPARAR LOS AVANCES PARA CUANDO SE PRODUCE UNA EXPANSIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Al pretender automatizar una vieja máquina todavía útil, con carga – descarga manual, encontramos excesivas dificultades para su transformación a carga – descarga automática, y caemos en la tentación de comprar una máquina nueva y automatizada. Esta resulta ser comúnmente muy cara. Al calcular el retorno de la inversión sustituyendo una máquina por otra, a menudo el número de años necesarios resulta desalentador, (de 6 a 10 años), porque el valor residual de la máquina vieja es muy bajo.

Si hay una expansión de la producción, sólo hay que considerar la diferencia entre la adquisición de una máquina automatizada y de otra sin automatizar. Los números mejoran enormemente. Por este motivo hay que acumular las ideas aplicables, para ponerlas en práctica cuando se produce la expansión.

3.9.5 EL APROVECHAMIENTO DEL EQUIPO

La evolución acelerada de los productos obliga a prever una necesaria transformación del equipo.

Las soluciones basándose en robots y la modularización en las máquinas y herramientas, tienden a mitigar el efecto de estas transformaciones. Podemos considerar tres aspectos de la modularización:

1. Que las máquinas herramientas estén compuestas por elementos modulares que permitan reconstruir la máquina cambiando la posición de dichos elementos cuando llegue el cambio del producto.

2. Adaptar la solución de alcanzar la producción máxima, por adición de máquinas iguales, todas con carga-descarga automática, e integrables progresivamente en un mismo complejo de manutención.

Aplicando este sistema, si el ritmo de ventas no llega al máximo previsto, obtendremos un ahorro importante en la inversión.

Como inconveniente, si se llega al desarrollo total, habremos invertido, probablemente, algo más.

Antes del advenimiento de la carga- descarga automática, este camino no era practicable, ya que aumentaba la mano de obra de forma prohibida, si se pasaba a la producción máxima.

Otras dos ventajas de esta solución consisten en:

- a) En caso de avería de una de las células, continúan funcionando todas las demás.
- b) Si de la pieza en cuestión se fabrican varias versiones, con ligeras variantes, se podrán fabricar simultáneamente piezas de distintos tipos.

Los centros de mecanizado de control numérico se prestan mucho a la anterior solución, pero son poco aptos para series masivas. No obstante, hoy en día, se emplea profusamente en los primeros pasos del desarrollo de nuevos productos, durante el período en que las ventas todavía son relativamente bajas y los cambios en el producto son mucho más frecuentes.

Interesa adquirir máquinas y robots de no demasiadas marcas. Es muy conveniente tener máquinas y robots repetidos, ya que ello permite, a la larga, tener alguno sobrante aplicar el mantenimiento preventivo (fuera de la línea).

También se facilita significativamente el reaprovisionamiento de recambios y la reducción del stocks de los mismos.

El reaprovechamiento de las líneas variará de unos productos a otros, y puede oscilar entre un 30% y, un 60%. Pero como hemos dicho la transformación debe efectuarse con cierto sosiego. Poner en marcha líneas muy automatizadas, es mucho más fácil que hacerlo en las de carga manual. La experiencia demuestra que las líneas muy avanzadas, inéditas, tardan entre uno y tres años en llegar al pleno rendimiento.

En cuanto al reaprovechamiento de robots, se dice que de momento, ninguno de ellos ha sido desguazado para chatarra. Algunos han trabajado 40.000 horas, lo que demuestra que cumplen bien el objeto de sobrevivir a los productos que producen.

3.9.6 ESTUDIO PREVIO

Una vez decidido el plan estratégico general, todavía debemos procurar ser prudentes no acumulando excesivos riesgos en nuestros objetivos.

Si vamos a emplear robots en un proceso, debemos ceñirnos, razonablemente, a las posibilidades de los robots que existen en este momento, por cuyo motivo existe un cierto consenso en evitar su empleo para:

- 1) Ciclos inferiores a 5 segundos.
- 2) Cargas superiores a 500 Kg
- 3) Precisiones inferiores a $\pm 0,1$ mm.
- 4) Lotes inferiores a 25 piezas.
- 5) Producciones superiores a 1 millón de piezas al año, (en general será mejor la máquina especial para este caso).
- 6) Alcances superiores a 4 o 5 metros, (estos no cuentan para los AGV).

- 7) Llegada de piezas inevitablemente desordenadas.
- 8) Cadenas transportadas de las piezas con movimiento uniforme continuo.
- 9) Contar en el empleo de visores ópticos con proceso de reconocimiento demasiado complicado.

No es que estas limitaciones sean del todo insuperables, pero nos llevarán en general a soluciones no-rentables.

3.9.7 ATENCIÓN A POSIBLES DISMINUCIONES DEL RITMO DE PRODUCCIÓN

A menudo, los robots no son más rápidos que las personas, por lo que no hay que esperar un aumento gratuito en el ritmo de producción, sino a veces cierta disminución. No obstante, con una solución bien concebida y bien construida, podemos conseguir más regularidad (más horas efectivas de marcha).

Sirva como ejemplo, el que con una rectificadora sin centros se consiguen rectificar (ciclo instantáneo) 265 piezas por hora con una máquina automatizada y 500 por hora con alimentación humana, en el caso de los cigüeñales de compresores para refrigeradores.

Esto obliga a comprar más máquinas cuando automatizamos. No obstante, al tratarse en los dos casos, de ciclos instantáneos, en el manual, hay que añadir el tiempo para necesidades personales y recuperación física, lo que puede llegar a alcanzar un 12% del tiempo total, con lo que la diferencia ya decrece.

3.9.8 POSIBILIDAD DE NOTABLES AUMENTOS DE PRODUCCIÓN

Por el contrario, cuando se requiere proyectar líneas de muy elevada producción, puede resultar adecuada la automatización total.

Durante bastantes años se consideró malo en líneas de montaje de compresores herméticos, bajar el ciclo por debajo de los diez segundos, (360 piezas/hora al 100%, aproximadamente 300 piezas/hora al 65% de aprovechamiento), ya que, a partir de este mismo, era difícil la subdivisión de las operaciones manuales.

Hoy en día, las líneas de montaje alcanzan producciones de 450 piezas/hora netas (al 85%), lo que representa un ritmo de la cadena de 450: 0,85 = 562 operación efectiva y 1,4 segundos para el cambio de palet, pero este ritmo se aplica en líneas muy automatizados; si las operaciones manuales que quedan son demasiado largas, se dobla la estación manual y ya tenemos 10 segundos para la operación.

Naturalmente los ritmos son función del tamaño del conjunto, así existen líneas totalmente automáticas para montar encendedores, que van desde 1 500 piezas/hora hasta 4.500 piezas/hora y en cambio el ritmo normal en una línea de montaje para motores de automóviles acostumbra a estar entre 120 y 240 piezas/hora, mientras que las líneas para montaje del coche oscilan entre ritmos de 50 a 120 coches/hora.

Hemos dichos que cuando alguna operación requiere más tiempo que el del ciclo, se duplica, triplican, etc. las estaciones, lo que puede resolverse por dos caminos: con estaciones en series o con estaciones en paralelo.

Una fórmula típica para disminuir los tiempos de ciclos en las cadenas rápidas, es el empleo de robots con más manos. Esto se obtiene por dos caminos:

- 1) *Sólo más manos.* Muy empleado el de doble mano y en progresión las manos quintuples revólver. (ASEA RB 1000 y SCARA para montaje de cartas electrónicas).

- 2) *Más brazos con sus manos.* Recurso muy empleado en los montajes de montar DEA (cartesianos).

En ambos casos se encarece naturalmente la inversión, pero se reduce el tiempo del ciclo significativamente.

3.10 JUSTIFICACIÓN FINANCIERA DE LA ROBÓTICA

Muchos industriales consideran que la gran reducción de los costos de la mano de obra es la ventaja más atractiva de los robots. La década de 1970 a 1980 fue testigo de la disminución del costo de operación por hora de un robot con respecto al costo de mano de obra por hora en los países industrializados y se espera que esta situación continúe favoreciendo a los robots. Si el objetivo principal es la reducción de los costos de mano de obra, entonces será necesario contar con métodos que permitan determinar si la inversión en una instalación (el costo del capital del equipo) justifica el rendimiento (los ahorros derivados de la reducción de los costos de mano de obra).

3.10.1 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Considérese primero la justificación económica de reemplazar un trabajador manual por un robot. La regla más simple establece un límite permisible para la inversión; esté límite se expresa en términos del número de años de costos de mano de obra que compraría la inversión. Está regla supone que los costos de operación del robot son insignificantes. Como los salarios aumentan, considérese un 7% anual y el precio promedio del robot no cambia, se aprecia que las instalaciones en las que se realiza un remplazo directo de robots por trabajadores manuales resultaran más atractivas sobre esta base.

En realidad, además del costo inherente del robot, se requiere tiempo para planear y determinar quien realizará la instalación. Durante esta etapa se incurre en gastos pero una vez que el robot está en operación dichos gastos se verán compensados en forma gradual por los ahorros resultantes. La mayoría de las actuales instalaciones con robots tienen periodos de recuperación que van de uno a cuatro años.

Costos unitarios

Al analizar un sistema propuesto para manufactura automática es importante conocer la forma en que los costos varían de acuerdo con el índice de producción del sistema.

Los costos unitarios son la suma de las contribuciones de los costos fijos, que son independientes del índice de producción, y los costos variables que dependen del número de unidades producidas. Los costos fijos incluyen la depreciación y la proporción de gastos fijos asignados al robot. La depreciación anual del equipo se deriva de la diferencia entre su costo de capital y el valor de amortización distribuida a lo largo de su vida útil. Los costos variables incluyen el costo de las materias primas, la mano de obra y el costo de operación de la maquinaria.

Flujo de efectivo descontado

Al analizar el flujo de efectivo de un proyecto a lo largo de un cierto periodo de tiempo, es necesario considerar el hecho de que una cantidad de dinero recibida en alguna fecha futura no valdrá tanto como la misma cantidad si se recibe el día de hoy; esto se debe básicamente a que el dinero, disponible en este momento, puede invertirse y puede por lo tanto generar intereses. La técnica de flujo de efectivo descontado permite que los flujos de efectivos futuros sean ponderados en forma adecuada de tal modo que puedan compararse de manera

directa con los valores presentes. Aunque sólo es posible utilizar tasas de interés estimadas, la técnica es importante por dos razones. Primero, permite realizar una comparación real entre distintas instalaciones en donde pueden lograrse ahorros a través de escalas de tiempo extremadamente variables, y, segundo, cualquier proyecto de capital debe pasar cuando menos la prueba contable básica de poder generar un mejor rendimiento que si se invirtiera el dinero.

Considérese un proyecto que requiere una asignación real de capital \$K y tiene un horizonte de inversión de H años (el horizonte de inversión es por lo general la vida útil del equipo). Si el proyecto genera flujos netos de efectivo C_1, C_2, \dots, C_H en los años 1, 2, ..., H, el valor neto VN del proyecto con una tasa de interés igual a cero es:

$$-K + C_1 + C_2 + \dots + C_H \quad (a)$$

El valor de flujo de efectivo para el año N, con respecto al momento actual, denominado valor presente (VP), se expresa en términos de la tasa anual de intereses (i) como:

$$\frac{CN}{(1+i)^N} \quad (b)$$

Por lo tanto el valor presente neto (VPN) del proyecto es:

$$-K + \frac{C_1}{1+i} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_H}{(1+i)^H} \quad (c)$$

Al hacer que VPN sea igual a 0 y al resolver para determinar i se obtiene la tasa interna de rendimiento (IRR) del proyecto, la cual es el interés real obtenido durante el horizonte de inversión a partir de la inversión K.

Comparaciones basadas en el costo unitario

Los conceptos financieros anteriores se aplicarán ahora a la selección entre distintos sistemas de manufactura. La decisión deberá basarse en una comparación de los costos unitarios para los distintos sistemas automáticos propuestos, por ejemplo (automatización fija, robots, etc.) contra los de un sistema manual existente.

El costo unitario C para la fabricación de un producto es la suma de todos los costos fijos y variables.

$$C = C_F + C_V \quad (1)$$

En donde C_F es el costo unitario fijo y C_V es el costo unitario variable.

El costo unitario fijo está dado por:

$$C_F = P_A / Q_A \quad (2)$$

en donde P_A es el precio anualizado del sistema instalado y Q_A es la cantidad producida al año.

El precio anualizado del sistema instalado es el costo fijo total que se ha de cargar al sistema por cada año de su vida útil y se expresa como:

$$P_A = K_f \quad (3)$$

en donde f es el factor del costo anual.

El costo instalado K para un sistema propuesto no se conoce durante la etapa de planeación. Con frecuencia se calcula como un múltiplo del costo del equipo, variando el factor de multiplicación de 1.0 en los sistemas manuales a 1.5 para la automatización fija y de 2.0 a 5.0 para la automatización flexible.

Si se espera que una proporción V del costo del equipo se recupere después de H años, este costo recuperable tiene un valor presente de:

$$\frac{V}{(1+i)^H} K$$

El valor presente real del costo instalado es por lo tanto:

$$\left[1 - \frac{V}{(1+i)^H} \right] K$$

Como este capital podría haberse invertido a la tasa interna de rendimiento mínima aceptable (i) a lo largo de la duración del proyecto, cargar una fracción $1/H$ del costo de la depreciación cada año no será suficiente; el costo deberá ponderarse para tomar en cuenta la tasa interna de rendimiento. El cargo real por depreciación anual es, por lo tanto, fK en donde el factor del costo anual f se expresa como:

$$f = \left[1 - \frac{V}{(1+i)^H} \right] \left[\frac{i(1+i)^H}{(1+i)^H - 1} \right] \quad (4)$$

El costo variable unitario se deriva de los costos de mano de obra y operativos:

$$C_v = \frac{(W * L_H) + O_H}{Q_H} \quad (5)$$

en donde W es el número de operadores en el sistema, L_H es el costo de la mano de obra por hora, O_H son los costos fijos por hora y Q_H es la producción por hora, la cual se relaciona con la cantidad anual producida. Como:

$$Q_A = S * 8D * Q_H \quad (6)$$

en donde S es el número de turnos de 8 horas por día y D es el número de días hábiles por año.

Las ecuaciones 1, 2, 3, 5 y 6 se combinan para dar el costo unitario como:

$$C = \frac{1}{Q} \left[\frac{Kf}{8SD} + (W * L_H) + O_H \right] \quad (7)$$

La ecuación anterior da el costo unitario en términos de producción para un sistema existente o propuesto, lo anterior permite seleccionar el sistema más económico para una tasa de producción dada.

El valor de este análisis puede ilustrarse por medio de un ejemplo:

En una operación existente de ensamblado de piezas metálicas se utilizan cuatro máquinas atendidas por dos operadores que trabajan en cada uno de dos turnos, produciendo cada celda un total de 30 artículos por hora.

Por lo que existen dos opciones posibles:

1. Mantener el sistema existente
2. Introducir un robot de manera que cada celda necesite un operador en cada turno.

Las cifras para cada una de las alternativas son las siguientes:

i. Costo del equipo U

Número de operadores $W = 4$

Costos fijos $O_H = 4$ DLLS/H

Costo de la mano de obra $L_H = 5$ DLLS/H

Velocidad de producción $Q_H = 30/H$

2. Costo del equipo 50,000 DLLS

Número de operadores $W = 2$

Costos fijos $O_H = 5$ DLLS/H

Costo de la mano de obra $L_H = 5$ DLLS/H

Velocidad de producción $Q_H = 30/H$

Se establece la practica de trabajar turnos de 8 horas durante 250 días hábiles al año y en ambos casos el valor recuperable se considera ser del 5% del costo de instalación después de 5 años, es decir $V=0.05$, $H=5$. La tasa interna de rendimiento mínima aceptable es 10%, es decir $i=0.1$, el factor f anual de costos se dará por la formula (4). Si se considera que el costo instalado K es el doble del costo del equipo, entonces la ecuación (7) nos dará los costos unitarios.

Solución:

$$f = \left[1 - \frac{V}{(1+i)^H} \right] \left[\frac{i(1+i)^H}{(1+i)^H - 1} \right] = \left[1 - \frac{.05}{(1+0.1)^5} \right] \left[\frac{0.1(1+0.1)^5}{(1+0.1)^5 - 1} \right] = 0.256$$

El costo unitario variable para ambos casos sería:

$$C_v = \frac{(W * L_H) + O_H}{Q_H} =$$

1. Sistema existente

$$= \frac{(4 * 5) + 4}{30} = 0.8$$

2. Sistema propuesto

$$= \frac{(4 * 5) + 5}{30} = 0.5$$

La cantidad anual producida será:

$$Q_A = S * 8D * Q_H = 2 * 8(250) * 30 = 120000.$$

Entonces los costos unitarios estarán dados por la ecuación (7):

$$C = \frac{1}{Q_H} \left[\frac{Kf}{8SD} + (W * L_H) + O_H \right] =$$

1. $C = \frac{1}{30}(0 + 4 * 5 + 4) = .80$ DLLS sistema existente

2. $C = \frac{1}{30} \left[\frac{100000 * 0.256}{8 * 2 * 250} + (2 * 5) + 5 \right] = .71$ DLLS sistema propuesto (robot)

Sobre una base de costos unitarios se justifica la segunda opción, la instalación de un robot.

CONCLUSIONES

Entre los puntos más relevantes del tema podemos mencionar:

El campo de la robotica tiene sus orígenes en la ciencia-ficción. El término "robot" proviene del checo, usado para referirse, por el escritor Karel Capek en sus obras, a máquinas con forma humanoide.

En los 40, Isaac Assimov introduce el término "robotica" y las tres leyes de la robotica.

En los 50 aparecen manipuladores mecánicos de control manual, precursores de los robots modernos; además, en los 60, se les agregó servocontroles de una máquina herramienta de control numérico.

En los 70 se inicia formalmente la investigación robotica en la Universidad de Stanford y en el Instituto Tecnológico de Massachussets.

La robotica actualmente, es el conjunto de disciplinas o tecnologías que permiten diseñar, realizar y automatizar estructuras mecánicas articuladas destinadas a la producción industrial.

El robot es un manipulador mecánico cuyos movimientos se controlan mediante técnicas de programación muy similares a las empleadas en el control numérico; lo anterior, debido a que la combinación del control numérico y la telequérica constituyen la base para el robot moderno, dicha combinación se debe, primero, al británico Cyril Walter Kenward, y, segundo, al norteamericano George C. Devol.

La automatización es una tecnología estrechamente relacionada con la robótica y con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras y en la operación y control de la producción.

La anatomía del robot se conforma, físicamente del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina; la cual puede tener una mano, denominada efector final, que no se considera parte de la anatomía.

Los robots industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo. En su gran mayoría, están hechos a base de cuatro configuraciones básicas:

Configuración polar.

Configuración cilíndrica.

Configuración de coordenadas cartesianas.

Configuración de brazo articulado.

Los movimientos del robot se realizan por medio de articulaciones accionadas; en el robot industrial implican un movimiento relativo de las uniones contiguas, movimiento lineal o rotacional. La capacidad del robot para desplazar su cuerpo, brazo y muñeca se proporciona por el sistema de impulsión utilizado para accionar el robot.

Los sensores son transductores utilizados para medir una variable física de interés; requieren estar calibrados para servir como dispositivos de medida; lo anterior es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Cuando se requiere utilizar transmisión de potencia se efectúa mediante engranajes, tornillos de potencia, entre otros.

Los efectores finales se dividen en dos categorías principales: pinzas y herramientas.

El robot inteligente surge de la unión de robótica industrial e inteligencia artificial, el cual adquiere crecimientos sobre el universo real, su geometría, leyes físicas, inexactitudes, entre otros; de manera que permita su uso eficiente.

Las aplicaciones industriales de los manipuladores se han incrementado en diferentes campos, cumpliendo funciones en las que sustituyen al operador humano en trabajos peligrosos; por lo que se dedicó un capítulo, específicamente, a revisar brevemente las aplicaciones más usuales, ya que son muy numerosas y podrían ser objeto de otro trabajo de investigación.

Podemos afirmar que la robótica, como multidisciplina, se apoya prácticamente en todas las áreas técnicas de la ingeniería moderna y aun en otras ciencias que parecen no tener relación, como la sociología, la administración de empresas y las finanzas.

Su aplicación ha pasado a formar parte de la actual forma de vida de la humanidad aun en países poco desarrollados y sobre todo, de manera muy obvia, en los países industrializados conocidos como del primer mundo. Sus aplicaciones abarcan prácticamente muchas áreas del saber y del quehacer humano.

Para implantar robots o automatizar procesos de producción, hay que tomar en cuenta muchos aspectos como. El tipo y tamaño de industria, y además, estudiar a fondo el punto; ya que no siempre es lo más conveniente debido a sus elevados costos ya que tal vez no ofrezca las grandes ventajas que se creen y no se pueda aprovechar al máximo el equipo. De lo anterior se desprende que hay que equilibrar riesgos y desventajas con ventajas y aprovechamiento; esto después de un estudio previo; antes sería muy arriesgado intentar introducir robots en alguna industria.

Por otro lado, aunque con la implantación de robots hay un ahorro significativo en los costos directos, por lo general en aquellos lugares donde la mano de obra sea muy barata, no es recomendable la utilización de robots, ya que la relación entre la inversión y el ahorro por reducción de mano de obra sería muy alta y el tiempo de recuperación de la inversión muy grande. En estos casos su uso sería recomendable solamente para asegurarse la calidad, o ante ambientes muy hostiles o desfavorables para los seres humanos.

La rentabilidad de instalaciones costosas quedará asegurada si el tiempo de trabajo anual y el ritmo de producción son suficientemente altos como para garantizar la competitividad de los equipos y evitar su obsolescencia tecnológica mediante una rápida amortización.

La fabricación tradicional con un turno, pausas normales, tiempos no productivos por falta de coordinación, vacaciones anuales, fines de semana y otras fiestas laborales reducen el tiempo útil de producción a un valor del orden del 20% anual. Las instalaciones que trabajan a dos turnos alcanzan rendimiento temporal doble del anterior, que puede superarse llegando a fórmulas de mayor aprovechamiento de los recursos organizativos y tecnológicos de la empresa.

El ritmo de producción en sistemas automatizados es más alto y podría mantenerse como límite, sin interrupción, durante 8760 horas anuales. Ante este panorama las posibilidades de los sistemas robotizados pueden ofrecer soluciones antes no imaginarias para graves problemas de competitividad de la empresa.

En sentido inverso, la introducción irreflexiva de equipos automáticos, tales como máquinas-herramientas o robots inadecuados o mal gestionados cuyo costo de adquisición alcanza valores elevados, puede arrastrar una incorrecta reconversión o pérdida de puestos de trabajo, una notable dependencia tecnológica y peligro para subsistencia de la industria, así como una notable

perdida de divisas en el ámbito nacional, si se parte del hecho actual de que la mayor parte de estos equipos son importados.

Actualmente hay numerosos robots experimentales y proyectos en desarrollo; lo cual, tal vez en un futuro, constituya aplicaciones ya consolidadas, ya que esta tecnología esta en constante desarrollo y cada vez hay más gente interesada en el estudio e invención de nuevas formas de ella, y en el establecimiento de nuevas profesiones enfocadas al estudio del cambio constante y rápido de la actualidad.

La robotica es una tecnología con un futuro y para el futuro; lo que exige trabajo de ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, informática, ingeniería industrial, tecnología de materiales, ingeniería en sistemas de fabricación y ciencias sociales.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO J Ma. Y NOÉ JOSÉ.

Robótica.
Editorial Paranio.

AMESTEGUI M.

El problema de control de robots.
Gestión tecnológica de México.

DISCOVERY CHANNEL

El surgimiento de los robots.
Videos I y II. 1988.

DANIEL AUDÍPIERA

Cómo y cuándo aplicar un robot industrial
Colección Producida
Marcombo Editores
Edición 1988. España

GIORGO C. BUTTAZO, DENEDETTO ALLOTA

Víctor Manuel Barreiro Cortés
IEEE control system society, Febrero 1994.

IBARRA J.M.

Anatomía de un robot
Gestión Tecnológica de México

JAMES L. FULLER

Robotics, Introduction, Programming and Projects.
Maxwell Mac Millan International Editions
Año 1989

MINSKY MAOVIN

Robótica. La última frontera
Editorial Planeta

Mc. CLOY

Robótica. Una introducción
Limusa. Noriega Editores

NAGEL – OBREY

Industrial Robotic
Mac Graw Hill
Edición 1989, USA.

P. COIFFET/M. CHIROUZE

Elementos de robótica
Colección Ciencia Electrónica
Edición 1990

PIERRE BÉRANGER

En busca de la excelencia industrial. JUST ON TIME
Limusa. Noriega Editores 1999

RAFAEL FERRE MASIP

Fabricación Asistida por Computador
Marcombo Editores
Edición 1987. España

VEDDER R. K.

Los automatats y la economía
Ata tecnología, desafío y oportunidad

VICTOR MANUEL BARREIRO CORTÉS

Robótica industrial; vol. 16
IEEE Control Systems Society, febrero 1974

VARIOS AUTORES

CAD/CAM/CAE
Edición 1990, España

VINCENT LABOUCHEIX

Tratado de la Calidad Total
Limusa. Noriega Editores