

ROBOTICA

La tecnología es tan antigua como el hombre mismo según McCloy (1992). Los hombres se convirtieron en tecnólogos cuando aprendieron a aprovechar los materiales y fenómenos naturales del mundo físico que lo rodeaba. Cuando descubrieron que un hueso podía usarse para matar animales y mover rocas, se convirtieron en fabricantes de herramientas y el uso de herramientas es la marca distintiva del tecnólogo. Las herramientas han aumentado la capacidad humana. Cuando un hombre fabrica una herramienta es porque tiene en mente un uso para ella.

Las máquinas y la mecanización, han incrementado la fuerza muscular; la computadora ha incrementado el poder mental; los sentidos del hombre se han ampliado por medio de instrumentos y dispositivos de medición, hemos llegado a una era en la cual la tecnología, especialmente la de los robots dice McCloy (1992), no sólo incrementará nuestras capacidades humanas sino que también podrá reemplazarlas por completo.

Con una necesidad presionante para superar la productividad dice Chang (1991) las industrias manufactureras están optando mas y mas hacia la manufactura flexible auxiliada por computadora. La inflexibilidad de muchas maquinas nos ha llevado al interés del uso de robots industriales.

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

4.1 FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS BASICOS

Según Chang (1991) un robot industrial es un manipulador controlado por computadora de propósito general consistiendo de varios enlaces rígidos conectados en serie por medio de revolutas o juntas prismáticas. Con esta definición de robot es necesario conocer algunos conceptos básicos.

Mecanización

Dado que las fuerzas generadas por los seres humanos son reducidas, fue necesario inventar dispositivos que amplificaran estas fuerzas, las cuales adquirieron forma de máquinas. Las cinco máquinas más elementales según Hero de Alejandría son la palanca, la rueda y el eje, la polea, la cuña y el tornillo. Una máquina es el intermediario entre la potencia motriz y aquellas partes que realmente llevan a cabo los movimientos necesarios para realizar el trabajo requerido dice McCloy (1992).

La capacidad de transformación de las máquinas no es infinita y son muchas las ocasiones en que las limitaciones de las capacidades humanas imponen un problema demasiado grande para que lo pueda resolver la máquina. La mecanización para llevar a cabo el trabajo de personas o animales ha estado presente desde hace siglos, pero a pesar de reducir en gran medida el esfuerzo físico, la mecanización no logró quitar la carga de tener que controlarlo.

Control Automático

Es un control que actúa sólo, sin intervención humana. La mayoría de los actuales sistemas de control industrial no podrían funcionar si dependieran de operadores humanos. El tiempo de reacción inherente del hombre es aprox. 0.2 seg. y la tendencia de este a aburrirse y distraerse, son algunos de los factores que lo excluyen del sistema según McCloy (1992).

Automatización

Es el desempeño de operaciones automáticas dirigidas por medio de comandos programados con una medición automática de la acción, retroalimentación y toma de decisiones. Esta definición indica que parte de la automatización consiste en un programa para determinar el orden de los eventos así como para instruir al sistema sobre como debe llevarse a cabo uno de los pasos de la operación. La computadora ofrece la forma más flexible de programación, por lo que no resulta sorprendente que en la actualidad la automatización tienda a asociarse con el control por computadora.

Robótica

La palabra en sí misma fue introducida en 1917 por Karel Capek. Un robot es un manipulador programable, multifuncional para mover materiales, partes, herramientas o aparatos especiales con movimientos programados para el desempeño de diversas tareas. Todos los aditamentos para ejecutar movimientos dentro de una sola trayectoria que no son reprogramables, no caen en la categoría de los robots. La palabra robot proviene del checo que significa labor forzada o monótona.

4.1.1 Desarrollo Histórico

La tabla 4.1 muestra el desarrollo histórico del robot

Tabla 4.1 Desarrollo Histórico del robot

AÑO	DESARROLLO
1800	Se originó el primer robot tejedor en la industria textil .
1892	Se construyó un brazo motorizado con dedos para mover lingotes de acero al rojo vivo por Seward Babbitt
1938	Se desarrolló una máquina programable para pintar (Cía DeVilbiss)
1951	Se utilizó el primer brazo articulado por la Comisión de Energía Atómica de los EUA
1954	Se desarrolló el primer robot programable por George Devol
1959	Se desarrollo el primer robot comercial
1962	El primer robot industrial fue usado por la GM en una línea de producción.
1973	Se desarrolló el primer robot industrial controlado por un minicomputador por la Cía Cincinnati Milacron.

4.1.2 El Sistema del Robot

El movimiento es desempeñado por todo el sistema, no sólo por el robot en sí; el brazo mecánico solo lo ejecuta y la tarea es desempeñada por toda la célula de trabajo. La figura 4.1 muestra el sistema de robot:

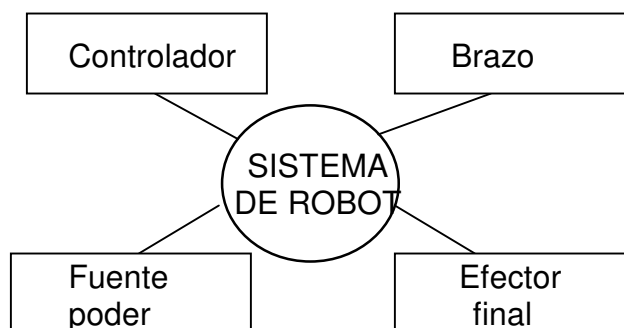


Figura 4.1 Componentes del Sistema de Robot

El Brazo Mecánico. Es la parte más familiar del sistema, es la que ejecuta el trabajo. Se clasifica de acuerdo al movimiento.

- a) Rectangular
- b) Cilíndrico
- c) Esférico o Polar
- d) Articulado

Fuente De Potencia. La potencia puede ser suministrada en tres formas:

- 1. Eléctrica
- 2. Hidráulica
- 3. Neumática

Un sistema de robot con brazo grande puede llegar a utilizar las tres fuentes de potencia.

El Controlador. Es similar en funciones a una computadora, cuenta con un CPU y una serie de entradas y salidas. En conjunción con el controlador se tienen las estaciones o terminales de enseñanza, los monitores de visión, los paneles frontales del controlador y las memorias permanentes.

EL cerebro o controlador generalmente adopta la forma de un microprocesador. El controlador tiene tres funciones principales:

1. Iniciar y terminar el movimiento del manipulador de acuerdo con una secuencia y en los puntos deseados.
2. Almacenar información de la secuencia y la posición de la memoria.
3. Realizar la interfase con el entorno o ambiente en que opera el robot

Efecto Final. Es el elemento del robots que realizará la actividad para la cual se colocó el robot en el proceso, esta puede ser como sujetador o como herramienta. Se establece una distinción en las operaciones en términos del uso del efecto final, es decir se trata de una tenaza o de una herramienta.

Operaciones en donde el efecto final es generalmente una tenaza.

Esta categoría incluye aquellas actividades en las que el robots se usa para manejar productos, cargar o descargar máquinas, transferir o reorientar componentes. En estos casos, el efecto final puede adquirir una gran variedad de formas, desde tenazas operadas mecánicamente hasta succionadores, pero su función principal sigue siendo sujetar.

Operaciones en donde el efecto final es generalmente una herramienta.

La soldadura por puntos domina esta categoría. Para llevar a cabo una soldadura por puntos, el robot conduce el efecto final, una pistola de soldadura al sitio deseado e inicia la secuencia para soldar. Consistente en sujetar la pieza, aplicar corriente, aplicar presión, cortar corriente y soltar la pieza

Muñecas.

Se requiere una muñeca para orientar la mano o efecto final en el espacio. Si se requiere movilidad el robot deberá tener ruedas, rieles o patas. En tanto que los tres primeros eslabones de un robot se usan para el control de la posición general de un efecto final, la función principal del eslabón de la muñeca es la orientación angular. Cada orientación del efecto final requiere un grado de libertad en el conjunto de la muñeca. Los tres términos usados con mayor frecuencia para la orientación del efecto final son inclinación horizontal, inclinación vertical y oscilación.

Tenazas

Existen muchas formas de suministrar seis grados de libertad a un efecto final, pero ninguna de ellas sirve para un propósito útil sino hasta que se incluye una verdadera carga de trabajo. Lo anterior puede tomar la forma de una herramienta,



como pueden ser un porta electrodos de soldadura, un taladro, una pistola rociadora, etc. En forma optativa, la carga de trabajo puede ser un objeto, como en el caso de una pieza fundida, un chocolate, una hoja de vidrio, que se transfiere de una estación de trabajo a otra.

Tenazas Mecánicas. Las tenazas mecánicas, de acuerdo con konstantinov (1975) pueden subdividirse todavía en los siguientes tipos: articuladas, cremallera y piñón, de biela, de tornillo, de cuerda y polea y diversos.

Tenazas Magnéticas. Las tenazas magnéticas (Chen, 1982; Neubauer,1982) se usan con frecuencia cuando se han de manejar materiales ferrosos planos. Pueden emplearse imanes permanentes o electroimanes.

Tenazas Universales. La ultima clase de tenazas por analizar comprende los intentos más recientes de diseñar unas tenazas capaces de sujetar objetos de distintas formas. Las manos humanas son unas tenazas de este tipo. Otro avance importante hacia la tenaza universal son las tenazas inflables (Chen, 1982) que pueden adaptar su forma a una gran variedad de perfiles. Estos dispositivos se basan en el uso de una bolsa flexible llena de algún material suelto. Como pueden ser pequeñas partículas esféricas de vidrio o metal. Esta bolsa, colocada alrededor del componente, se presuriza para ajustarla a la forma del componente. La bolsa se vacía luego y el material suelto se consolida para sostener la parte firmemente.

4.2 MANIPULADORES

Existen muchas maneras de clasificar las operaciones en la que intervienen los robots: según el método de control, por su complejidad, etc. Actualmente no existe una forma estándar en la industria de categorizar los robots, sin embargo una práctica es la siguiente:

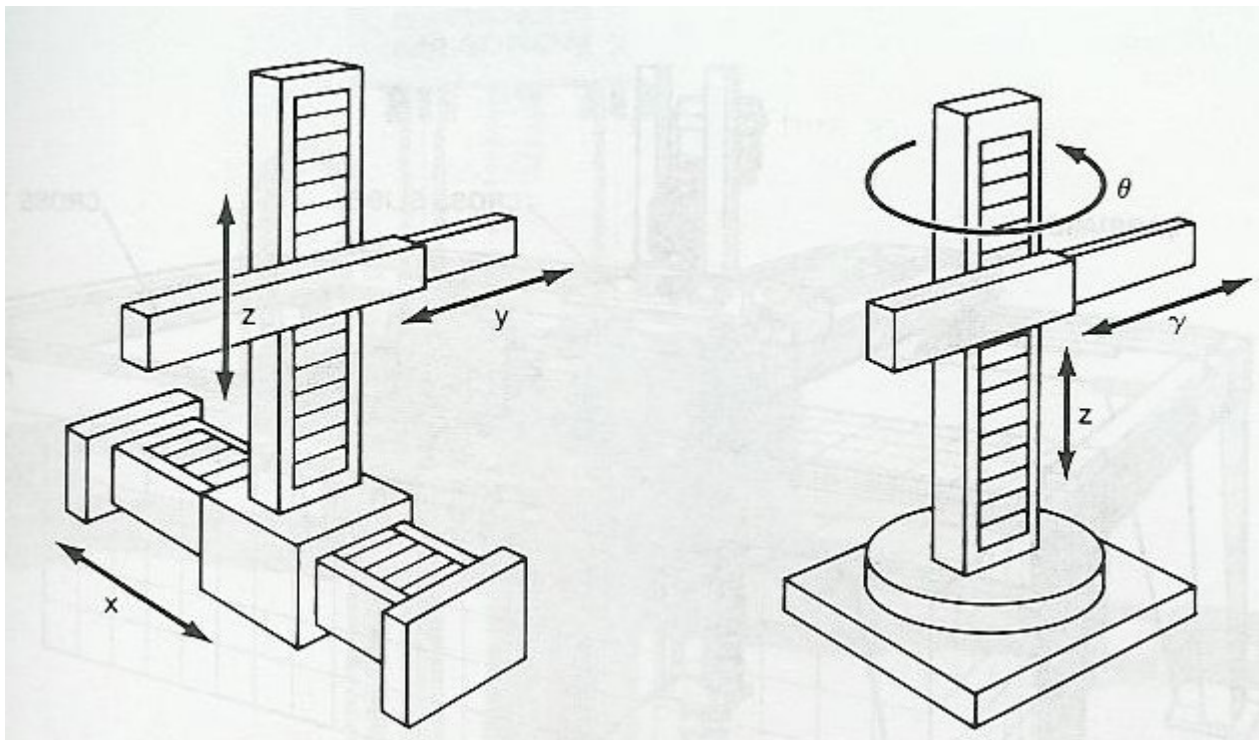
- a) Geometría del Brazo
- b) Sistema de Control
- c) Fuente de Potencia
- d) Aplicaciones

I) Categorización por la geometría del brazo

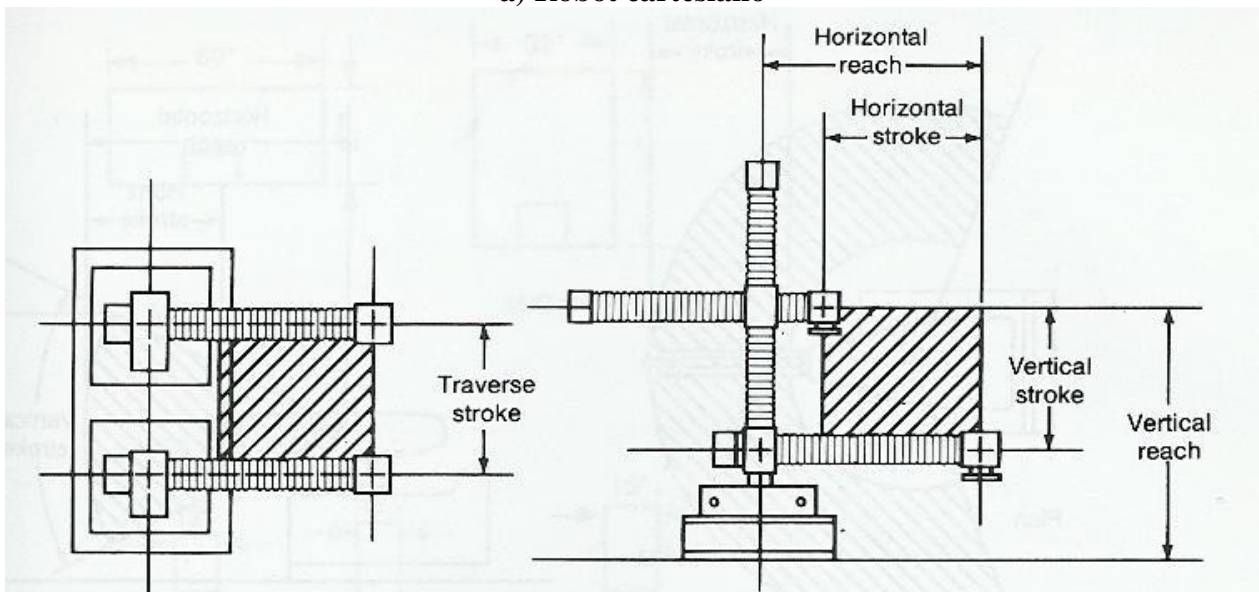
Según Chang (1991) los robots son generalmente caracterizados por el diseño del sistema mecánico. Generalmente hay 6 configuraciones reconocidas de robots: 1) cartesiana, 2) de pórtico, 3) cilíndrico, 4) esférico, 5) articulado y 6) SCARA

1) Robots de coordenadas cartesianas (tres ejes lineales)

El posicionamiento puede hacerse por movimiento lineal o vertical a lo largo de los tres ejes: atrás, adelante, adentro, hacia fuera arriba o abajo. Estos ejes son conocidos como ejes cartesianos x, y ,z. El área de trabajo, o sea el desplazamiento es en forma de un cubo según Groover (1990).



a) Robot cartesiano



b) Movimiento del robot cartesiano

Figura 4.2 Robot Rectilíneo o Cartesiano (Chang, 1991)

Utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes X,Y,Z. Desplazando los tres dispositivos deslizantes entre si, el robot es capaz de operar dentro de un envolvente rectangular de trabajo. La configuración debido a su apariencia

y construcción se denomina ocasionalmente de caja. **El robot de pórtico** es otro nombre utilizado para los robots cartesianos que suelen ser grandes y que tienen la apariencia de una grúa del tipo del pórtico.

Hay ventajas e inconvenientes relativos a las cuatro anatomías del robot que son 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 mas probable que tenga ventaja debido a su estructura inherentemente rígida. La capacidad de elevación del robot es importante en muchas aplicaciones. La configuración cilíndrica y el robot XYZ de pórtico pueden diseñarse para una alta rigidez y gran capacidad de transporte de carga. Para las aplicaciones de 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.

2) Robot de Pórtico

Es un tipo de robot cartesiano cuya estructura parece un pórtico. Esta estructura es para minimizar deflexión a lo largo de cada eje (ver figura 4.4, Chang, 1991). Muchos robots grandes son de este tipo. Las coordenadas X,Y y Z pueden ser derivadas usando el mismo juego de ecuaciones usadas en los robots cartesianos.

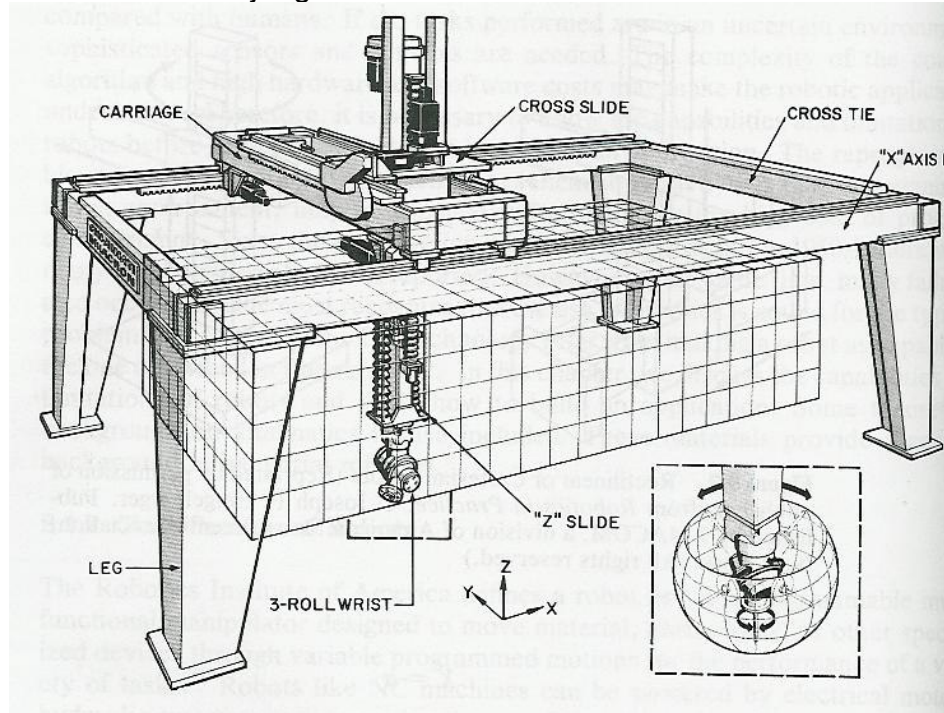


Figura 4.3 Robot de Pórtico.

3) Robot de coordenadas cilíndricas (Dos ejes lineales y un eje rotacional)

Según Chang (1991), un robot cilíndrico tiene dos ejes lineales y un eje rotacional. La posición del manipulador permite al brazo rotar cerca de la base o

espalda y los otros dos ejes permiten movimientos hacia arriba, hacia afuera y hacia adentro. Los ejes para las coordenadas cilíndricas son θ (la base que es eje rotacional); R (alcance), el eje hacia adentro y hacia afuera; y Z el eje hacia arriba y hacia abajo. El área de trabajo o célula de servicio por un robot de coordenadas cilíndricas es el espacio entre dos cilindros concéntricos de la misma altura.

Los robots de coordenadas cilíndricas se pueden montar sobre una plataforma móvil para cubrir mas espacio. En el extremo del brazo del robot esta la muñeca los ejes de la muñeca pueden girar (que se llama oscilar), su rotación en un plano perpendicular al extremo del brazo, inclinarse también en un plano vertical a través del brazo, y virar la rotación en el plano horizontal a través del brazo. Los ejes de la muñeca no cambian mucho la curvatura de trabajo si no que permite orientar la herramienta a un punto específico. Sujeta a la muñeca esta la mano, también llamada agarrador, efector de extremo o herramienta de extremo del brazo (en ingles end-of-arm-tool EOAT). La carga útil del EOAT incluye el peso de EOAT mas el peso del objeto; la mayoría de las capacidades de carga útil están dadas por el peso colocado exactamente en la placa de montaje.

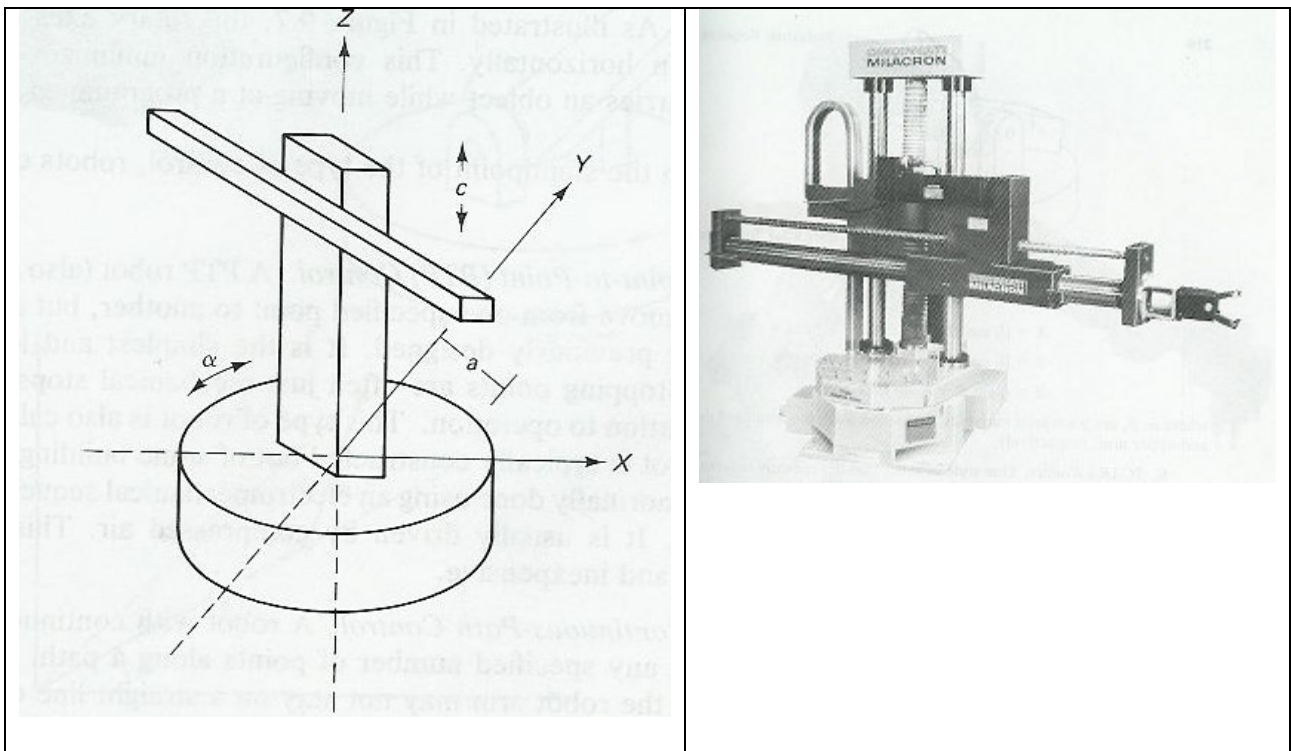


Figura 4.4 Robot de coordenadas cilíndricas (Cortesía de Unimation Incorporated)

Hay dos tipos de EOAT: 1) Agarradores y 2) Herramientas - pistolas atomizadoras, contorneadoras, lijadoras, taladros, desarmadores, pinzas de impacto. Muchos mas robots pueden cambiar automáticamente sus EOAT pueden ser que el cambio sea automático o manual se necesita que haya un mecanismo o técnica específica para que el EOAT este exactamente en la misma posición y orientación

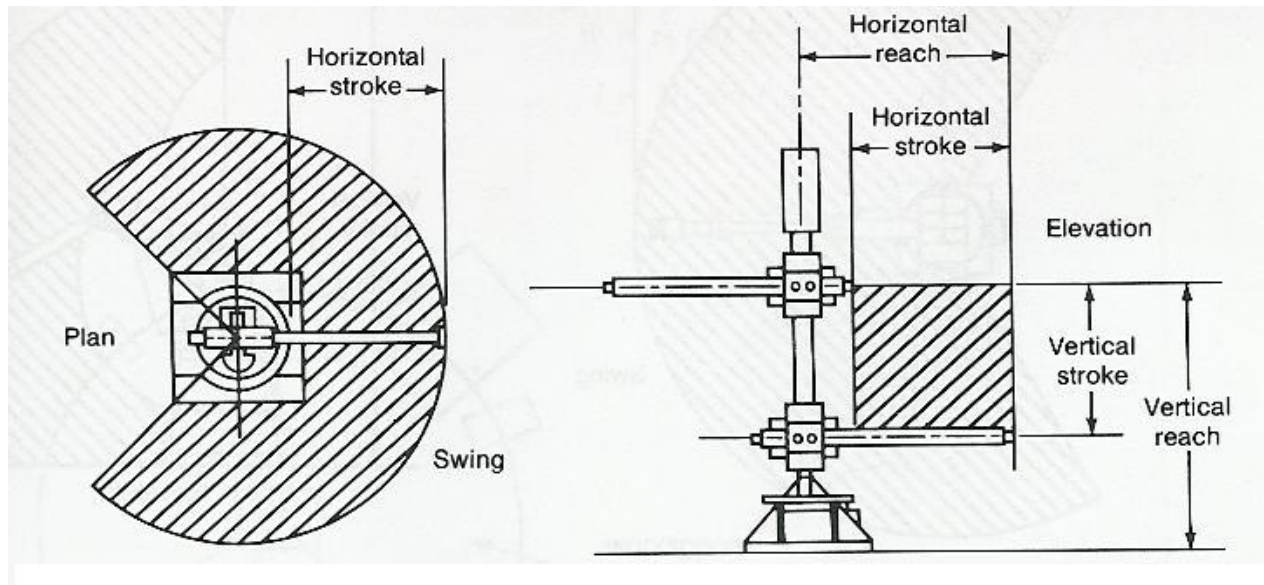
antes y después del cambio si no el programa tendrá que modificarse después de cada cambio; lo mismo ocurre con cualquier instrumento complejo, el tiempo ocioso puede ser un problema. La posibilidad de mantenimiento aumentará si se tiene un EOAT de repuesto, para que las reparaciones se hagan mientras el robot continua operando.

VENTAJAS.

Puede alcanzar todo lo que esta alrededor de él. Tiene un eje rígido de alcance y altura

DESVENTAJA .

No puede alcanzar lo que esta por encima de él



a) Trazo del robot cilíndrico

4) Robots de coordenadas esféricas (un eje lineal y dos ejes rotacionales)

A este tipo de configuración según Groover (1990), también se le suele llamar configuración polar, utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar alrededor de un pivote horizontal. Este pivote esta montado sobre una base giratoria. Estas diversas articulaciones proporcionan al robot la capacidad para desplazar su brazo dentro de un espacio esférico. El robot esférico rota en su base, pivotes o se inclina en su hombro, y cuenta con extensión y retracción en su brazo; su área de funcionamiento es una porción de esfera.

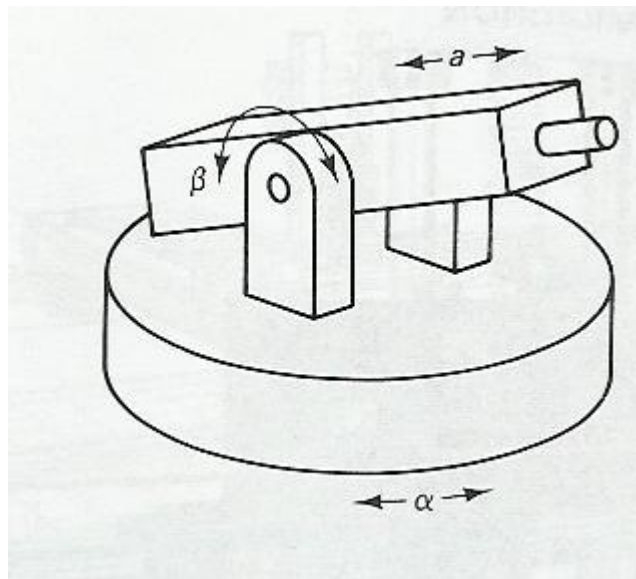
En la actualidad hay varios robots de tipo comercial que tienen la configuración polar o de coordenadas esféricas, entre ellos podemos nombrar al conocido como Unimat serie 2000 y a otro mucho mas pequeño el MAKER 110, fabricado por la United States Robots .

VENTAJA.

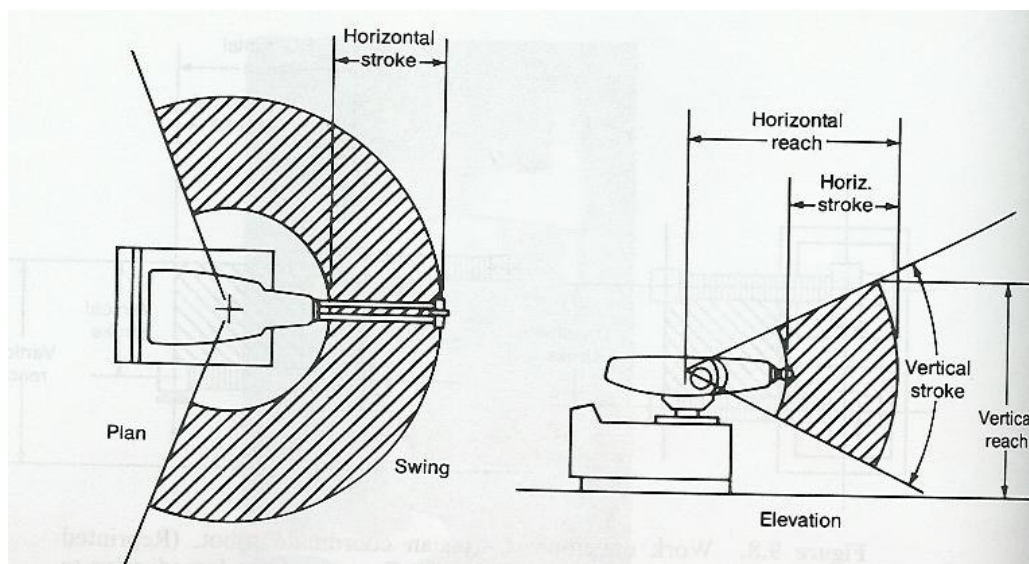
Tiene un alcance por encima de él.

DESVENTAJAS.

Comparado con el robot de coordenadas cartesianas tiene una resolución relativamente baja que varía con el largo del brazo.



a) Robot Cilíndrico



b) Trazo del Movimiento del Robot Cilíndrico

Figura 4.5 Robot de coordenadas esféricas

5) Robot articulados (tres ejes rotacionales)

Los movimientos del robot se realizan por medio de articulaciones accionadas. Tres articulaciones suelen estar asociadas con la acción del brazo y del cuerpo y dos o tres articulaciones se suelen emplear para accionar la muñeca. Para la conexión de las

diversas articulaciones del manipulador, se emplean unos elementos rígidos denominados uniones acorde a Groover (1990).

Las articulaciones utilizadas en el diseño de los robots suelen implicar un movimiento relativo de las uniones continuas, movimiento que es lineal o rotacional. Las articulaciones lineales implican un movimiento de traslación. Hay como mínimo tres tipos de articulaciones giratorias que pueden distinguirse en los manipuladores del robots.

Su configuración es similar a la de un brazo humano. Esta constituido por dos componentes rectos, que corresponden al antebrazo y brazo humano, 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 proporciona varias articulaciones suplementarias.

Comercialmente también existen varios modelos de robots que tienen la configuración de brazo articulado, incluyendo entre ellos el robot Cincinnati Milacron T3 (Modelo 776), también existe una versión especial del robot de brazo articulado llamado SCARA, cuyas articulaciones de hombro y codo giran alrededor de ejes verticales, lo que le proporciona rigidez para el robot en la dirección vertical, pero una elasticidad en el plano horizontal, esta combinación lo hace ideal para muchas tareas de montaje.

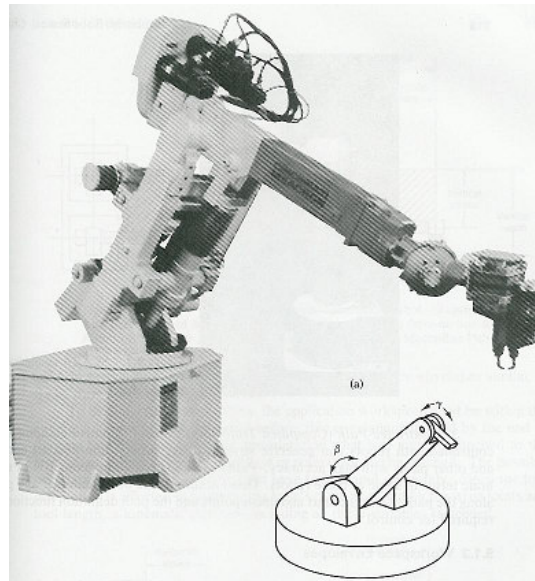


Figura 4.6 Robot articulado

6) Robot SCARA

Un estilo de robot que parece completamente popular es una combinación del brazo articulado y el cilíndrico. El robot tiene mas de tres ejes y es usado ampliamente en ensamble de electrónica. Esta configuración minimiza la deflexión del robot cuando carga un objeto cuando se esta moviendo a una velocidad programada. La figura 4.7 muestra una ejemplo de este robot.



Figura 4.7 Robot SCARA

4.3 SISTEMAS DE CONTROL Y MOTORES DE IMPULSION.

Las acciones de las coyunturas individuales deben ser controladas en orden por el manipulador para ejecutar el ciclo de movimiento deseado. En esta sección se examinan los tipos de sistemas de impulsión y los sistemas de control asociados que se utilizan en robótica.

II) Categorización por Sistema de Control

Básicamente los robots pueden clasificarse en controlados y no controlados. Los robots sin servomecanismo no son adecuados para aplicaciones que requieren que un efector final se mueva a diversas posiciones dentro de un cierto volumen de trabajo. En tales casos es necesario utilizar robots servo controlados. Estos son sistemas de malla cerrada en los cuales necesita medirse la variable controlada. Además de permitir el control de la posición, estos sistemas pueden usarse par medir la velocidad y aceleración.

A) Servo control o Control de lazo cerrado. Consiste en retroalimentación continua respecto a la velocidad, dirección y posición de los dedos del robot. Los robots controlados por servomecanismos, pueden separarse en dos clases principales: robots punto a punto (PTP) y de trayectoria continua (CP). Existen muchas actividades que requieren un control preciso de la trayectoria entre 2 puntos: la soldadura continua y la pintura por rocío. En este caso el control PTP puede ser inadecuado y posiblemente resulte necesario emplear un control CP. Sus ventajas son:

- Alto costo
- Se usa donde la ruta de movimiento es crítica
- Gran capacidad de retroalimentación.
- Puede realizar una gran diversidad y complejidad de tareas.

Figura 4.8 Diagrama de bloques de un sistema cerrado (McCloy, 1992)

B) No servocontrolados o Control de lazo abierto. Consiste en controlar el movimiento por medio de un sensor al final de este. Los robots no controlados o sin servomecanismo se conoce como robots de extremo a extremo, para levantar o colocar o de secuencia limitada. Su naturaleza de malla abierta lo restringe a la realización de tareas simples como la transferencia de partes de un lugar a otro. Por otra parte, estos robots cuentan con varias ventajas como bajo costo, precisión, confiabilidad y sencillez.

- No puede suspender un movimiento a la mitad de su trayectoria.
- Se les conoce “recoge y deja”
- Bajo costo
- Poco mantenimiento
- Ejecuta tareas sencillas
- Corta vida
- Requiere sujetadores más complicados y efectivos.

Figura 4.9 Control de Lazo Abierto

Para que un robot funcione adecuadamente, debe contar con un sistema que regule sus movimientos. Los robots industriales que actualmente existen pueden clasificarse en 3 categorías, según su sistema de control.

1. Robots de secuencia limitada (Baja Tecnología)

Los robots de secuencia limitada representan el nivel de control más bajo, se controlan por el posicionamiento de interruptores de fin de carrera y/o topes mecánicos para establecer los puntos finales de desplazamiento para cada una de sus articulaciones. El establecimiento de las posiciones y las secuencias de estos topes implica una puesta a punto mecánica del manipulador en lugar de una programación del robot en el sentido habitual del término. Con este método de control, las articulaciones individuales solo pueden desplazarse a sus límites de desplazamiento extremos. Cualquier sistema de impulsión puede utilizarse con este tipo de sistema de control; sin embargo, la impulsión neumática parece ser el tipo utilizado con mayor frecuencia. Las aplicaciones de este robot suelen implicar movimientos simples, tales como operaciones de “coger y sujetar”.

2. Robots de reproducción (Mediana Tecnología)

Los robots de reproducción utilizan una unidad de control más sofisticada, en la que una serie de posiciones o movimientos son “enseñados” al robot, registrados en memoria y luego repetidos por el robot bajo su propio control. El procedimiento de enseñar y registrar en memoria se le conoce como la programación del robot.

Los robots de reproducción pueden clasificarse en dos categorías: robot punto a punto (PTP) y robot de trayectoria continua (CP). Los robots punto a punto son capaces de realizar ciclos de movimiento que consisten en una serie de localizaciones de puntos deseados y acciones afines. Los robots punto a punto no controlan la trayectoria tomada por el robot para cambiar de un punto a otro. El control de la secuencia de posiciones es bastante apropiado para muchas clases de aplicaciones, incluyendo las máquinas de carga y descarga y la soldadura por puntos.

Los robots de trayectoria continua son capaces de realizar ciclos de movimiento, en los que se controla la trayectoria seguida por el robot. Esto se suele realizar efectuando el desplazamiento del robot a través de serie de puntos próximos, que describen la trayectoria deseada. El movimiento en línea recta es una forma común de control de trayectoria continua para los robots industriales. Algunos robots tienen capacidad para seguir una trayectoria curva suave definida por un programador. El control de trayectoria continua se requiere para algunos tipos de aplicaciones industriales, tales como revestimiento por pulverización y soldadura por arco.

3. Robots inteligentes (Alta tecnología)

Los robots inteligentes constituyen una clase cada vez más numerosa de los robots industriales, y capacidad no solo para reproducir un ciclo de movimiento programado, sino para interactuar con su entorno de una manera que parece inteligente. Invariablemente, el controlador consiste en una computadora digital o dispositivo similar. Los robots inteligentes pueden modificar su ciclo programado en

respuesta a las condiciones particulares que se produzcan en el lugar de trabajo, con los operadores humanos o con sistemas basados en computadora.

4.3.2 Motores de Impulsión

III. Categorización por la fuente poder (Sistemas de Accionamiento)

Los sistemas de accionamiento o impulso suministran al robot el poder muscular necesario. Son dispositivos para conversión de energía, que transforman una potencia eléctrica, hidráulica o neumática en una potencia mecánica. Los elementos básicos de accionamiento pueden clasificarse en motores y actuadores; los primeros son capaces de presentar rotación continua, mientras que los segundos están limitados en su movimiento, ya sea lineal o giratorio.

Comúnmente los sistemas de impulsión usados en robótica son eléctricos, hidráulicos y neumáticos. Los sistemas de impulsión eléctrico usados en motores eléctricos como junta de actuadores. Los sistemas de impulsión hidráulicos y neumáticos usados en dispositivos semejantes como pistones lineales para lograr el movimiento de la coyuntura.

- 1) El impulsor neumático es típicamente para los robots mas pequeños usados para simples transferencias de material.
- 2) Los impulsores hidráulicos y eléctricos ambos son usados en robots industriales mas sofisticados. Los sistemas de poder eléctricos son los mas comunes que existen entre los robots, además son los mas adaptables para el control computarizado, es la tecnología predominante usada hoy para controlar robots.
- 3) Los sistemas de poder eléctrico son relativamente mas exactos comparados con los robots hidráulicos, en contraste, los avances de los impulsores hidráulicos incluyen gran fuerza y velocidad.

Los tipos de sistemas de poder, los actuadores, la posición de los sensores (velocidad de los mismos) y el sistema de control de información para las coyunturas determinan las características de las respuestas dinámicas de el manipulador.

La velocidad con la cual el robot puede llevar a cabo las posiciones programadas y la estabilidad de estos movimientos son dos importantes características de la respuesta dinámica en robotica. La velocidad de respuesta es importante porque influye en el tiempo de ciclo del robot. Esto determinara la velocidad de producción en las aplicaciones del robot. La estabilidad del robot se refiere a la cantidad de oscilaciones ocurridas en el movimiento del robot como intentar llegar hasta cierta localización. Mas oscilaciones en el movimiento es un indicador de menos estabilidad. El problema es que los robots con gran estabilidad son inherentemente mas lentos en su respuesta.

1. Accionamiento Hidráulico

Una de las principales ventajas del accionamiento hidráulico es la capacidad para generar fuerzas de gran magnitud, algunas de las aplicaciones se encuentran en la industria que trata metales.

- a) La elevada relación fuerza-peso es otra importante ventaja. Los motores hidráulicos son mucho más pequeños que los motores eléctricos con la capacidad necesaria para generar la misma potencia.
- b) Un actuador hidráulico que trabaja a alta presión requiere una velocidad de flujo de aceite muy baja y por lo tanto, puede ser bastante pequeño.
- c) La rigidez de un accionador hidráulico es otra ventaja importante. El aceite es para fines prácticos, incomprensible, lo que hace que los accionadores hidráulicos sean insensibles a alteraciones en la carga.

Las ventajas son opacadas hasta cierto punto por varios problemas prácticos, siendo los más serios:

- d) Son costosos.
- e) Inconvenientes en entornos donde la higiene es importante
- f) Es necesario contar con espacios para la tubería requerida.

2. Accionamiento Neumático

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

El uso de aire comprimido como fuente de energía a aumentado rápidamente durante los últimos 20 años y en la actualidad se acepta en todas las ramas de la industria. Sus ventajas, muchas de las cuales son compartidas por los sistemas hidráulicos, pueden resumirse de la siguiente manera:

- Los componentes neumáticos son poco costosos.
- Los componentes están siempre en existencia.
- Los componentes son confiables y su mantenimiento es sencillo y económico.
- Los actuadores neumáticos no se queman cuando se atorán.
- No existen riesgos de incendios.
- Los sistemas neumáticos son limpios

Por supuesto también existen ciertas desventajas asociadas a los sistemas neumáticos y es necesario considerarlas cuidadosamente antes de instalar equipo neumático:

- La producción de aire comprimido es costosa .
- Es difícil lograr una precisión adecuada de alimentación debido a la naturaleza elástica del aire comprimido.
- La transmisión de señales de aire es lenta.
- Los cilindros neumáticos ocupan gran espacio y resultan costosos si se desean potencias considerables.
- Los sistemas a base de aire comprimido pueden ser muy ruidosos.

3. Accionamiento Eléctrico

En los robots se utilizan dos tipos principales de motores eléctricos: motores de pasos y servomotores de corriente directa. los motores de pasos se desplazan a un ángulo fijo por cada pulso y como el tamaño del paso es fijo, puede obtenerse una posición determinada enviando el número adecuado de pulsos al motor.

Los sistemas de mayor tamaño requieren una mayor potencia y una mejor medición de la posición y es aquí donde predomina el motor de corriente directa.

- Los actuadores eléctricos son fáciles de controlar.
- Se obtienen fácilmente y son poco costosos.
- Tienen un funcionamiento silencioso.
- Son limpios.
- Las relaciones potencia/ peso y par/peso son reducidas.
- La generación de arcos genera riesgos de incendio.

4.4 PROGRAMACION

En este tema se consideran los diversos sistemas que permiten a un operador enseñar la tarea a un robot paso a paso. Uno de los métodos de enseñanza más comunes requiere que el efector final se desplace en forma manual a través de la secuencia de movimientos requerida; otro comprende el uso de un manipulador modelo. Además también es posible la enseñanza de una botonera remota; las instrucciones también pueden mandarse a la computadora desde un teclado montado en el cubículo de control.

La programación del robot se realiza para enseñarle su ciclo de trabajo. Una gran parte del programa se refiere a la trayectoria del movimiento que el robot debe ejecutar para mover piezas o herramientas desde una posición del espacio de trabajo a otra. Estos movimientos se suelen enseñar mostrando el movimiento al robot y registrándolo dentro de su memoria. Sin embargo, existen otras partes del programa que no se refieren a ningún movimiento del brazo. Entre éstas se incluyen la interpretación de los datos de los sensores, la actuación del efector final y algunas de estas otras actividades se enseñan mejor mediante la programación del robot utilizando un lenguaje de computadora.

Un robot hoy en día puede hacer más que mover su brazo a lo largo de una serie de puntos dentro de un espacio. Los robots de tecnología actual pueden aceptar datos de entrada procedentes de sensores y otros dispositivos, pueden enviar señales a elementos del equipo que operan con ellos dentro de la célula, pueden tomar decisiones, pueden comunicarse con otras computadoras para recibir instrucciones y para informar sobre los datos de producción y los problemas. Todas estas capacidades necesitan de la programación.

Métodos de Programación de un robot.

Un programa de robot puede definirse como una trayectoria en el espacio a través de la cual se ordena al manipulador que se desplace. Existen varios métodos usados para programar robots. Las dos categorías básicas de mayor importancia comercial actual son la programación gestual y la programación de lenguaje textual.

La programación gestual consiste en forzar al brazo del robot a desplazarse a través de la secuencia de movimiento requerida y registrar los movimientos de la memoria del controlador. Los métodos de programación textual utilizan un lenguaje similar al inglés para establecer la lógica y la secuencia del ciclo de trabajo. Una terminal de computadora se utiliza para introducir las instrucciones del programa en el controlador, pero también se emplea una caja de control para definir las posiciones de los diversos puntos en el espacio de trabajo.

La programación del robot se realiza de varias formas. En coherencia con la práctica industrial actual, los métodos de programación son de dos tipos básicos:

- 1).- Métodos de aprendizaje directo
- 2).- Lenguajes textuales del robot.

Método de Aprendizaje Directo

Representan los primeros métodos reales de programación de robots utilizados en la industria, tienen sus comienzos en los primeros años 60 cuando utilizaron los primeros robots para aplicaciones industriales. En la programación de aprendizaje directo se mueve el robot a lo largo de la trayectoria del movimiento deseado con el objeto de almacenar esta información en la memoria del controlador. Existen dos modos de realizar la programación de aprendizaje directo:

- a) Aprendizaje directo motorizado.
- b) Aprendizaje directo manual.

a) El método de aprendizaje directo motorizado hace uso de un control de mandos para controlar los distintos motores de las articulaciones y la potencia de impulsión del brazo del robot y la muñeca a través de una serie de puntos en el espacio. Cada punto se almacena dentro de la memoria para su posterior reproducción durante el ciclo de trabajo. El dispositivo suspendido de enseñanza (control de mandos ver la figura 4.10) suele ser una pequeña caja de ayuda de control manual con combinaciones de conmutadores basculantes, cuadrantes y teclas para regular los movimientos físicos del robot y las capacidades de programación. El método de aprendizaje directo motorizado es posiblemente el más utilizado en la actualidad. Este método también denominado en ocasiones de “paso directo”, se utiliza con más frecuencia para la programación de caminos continuos en donde el ciclo de movimiento lleva consigo complejos movimientos curvilíneos uniformes del brazo del robot.

b) En el método de aprendizaje directo manual, el programador agarra físicamente el brazo del robot (y el efector final) y lo mueve manualmente a lo largo del ciclo de movimiento deseado, si el robot es demasiado grande y torpe para un movimiento físico, se suele sustituir por un aparato de programación especial para robots, este aparato tiene básicamente la misma geometría que el robot pero es más fácil de manipular durante la programación. La tecla de enseñanza se suele localizar cerca de la muñeca del robot (o del aparato de programación especial) y es pulsada durante los movimientos del manipulador que llegarán a formar parte del ciclo programado. Esto permite al programador la posibilidad de realizar movimientos extraños del brazo, sin que se incluyan en el programa final. El ciclo de movimiento se divide en cientos e incluso miles de puntos muy cercanos a lo largo de la trayectoria y estos puntos son registrados en la memoria de la computadora.

Los sistemas de control para los dos procedimientos de aprendizaje directo operan de dos modos diferente: modo de enseñanza y modo trayectoria. El modo enseñanza se utiliza para programar el robot y el modo trayectoria se utiliza para ejecutar el programa.

Los dos métodos de aprendizaje directo son procedimientos relativamente sencillos que se han desarrollado y mejorado en los últimos 20 años para enseñar a los robots a realizar operaciones simples y repetitivas en entornos de fábrica. Los requerimientos de capacidad de los programadores son relativamente modestos y estos procedimientos se pueden aplicar con facilidad en la fábrica.

-- Métodos de definición de posiciones en un espacio. Prescindiendo de la configuración del robot, existen varios métodos que el programador puede utilizar durante el modo de aprendizaje para mover el brazo del robot y la muñeca:

- 1).- Movimiento de articulación.
- 2).- Movimientos de coordenadas x-y-z (también denominadas coordenadas universales)
- 3).- Movimiento de coordenadas de herramientas

-- Razones para la definición de puntos. Existen buenas razones para definir puntos en el espacio en un programa de robot, en vez de contar con el robot para que pase a través de puntos indefinidos. las dos razones principales son:

- 1).- Definir una posición de trabajo para el efecto final.- donde cada posición es un punto definido del programa.
- 2).- Evitar obstáculos.- para evitar colisiones con otros elementos de la célula de trabajo

-- Control de velocidad. La mayoría de los robots permiten que su velocidad de movimiento sea regulada durante la ejecución del programa. Se considera buena práctica que el robot funcione a una velocidad relativamente baja cuando funciona próximo a obstáculos dentro de la célula de trabajo y a velocidades más altas cuando se desplace en grandes distancias donde no haya obstáculos.

-- **Interpolación de movimientos.** En muchos robots el programador puede especificar el tipo de método de interpolación a utilizar. las posibilidades incluyen:

- 1.- Interpolación de articulación
- 2.- Interpolación en línea recta
- 3.- Interpolación circular
- 4.- Movimientos suaves irregulares (programación manual de aprendizaje directo).

-- **Bifurcación.** La mayoría de los controladores para robots industriales proporcionan un método para dividir un programa en una o más ramas. La bifurcación permite que el programa del robot se subdivide en segmentos adecuados que puedan ejecutarse durante el programa. Una bifurcación se puede considerar como una subrutina a la que se puede llamar una o más veces durante el programa.

-- **Capacidades y limitaciones de los métodos de aprendizaje directo.**

Algunos de los controles de mandos poseen una amplia gama de capacidades. La definición de puntos en un espacio o el establecimiento de la velocidad pueden ser fáciles de hacer utilizando los interruptores basculantes y los mandos de un control de mandos sencillo. La programación de bifurcaciones, también se puede realizar de varias formas con un control de mandos.

Los controles tienen determinadas limitaciones inherentes a los métodos de enseñanza directa. estas limitaciones pueden resumirse de la siguiente forma.

- 1).- El robot no puede utilizarse en la producción mientras se esta programando.
- 2).- A medida que la complejidad de los programas se hace cada vez mayor, llega a ser más difícil realizar la programación de aprendizaje directo utilizando los métodos disponibles.
- 3).- La programación de aprendizaje directo no es fácilmente compatible con las modernas tecnologías basadas en la computadora, tales como el CAD/CAM, gestión de redes de comunicaciones de datos y los sistemas de información de fabricación integrada.

Lenguaje Textual del Robot

La mayoría de los lenguajes de robot implantados actualmente utilizan una combinación de programación textual y programación a través de un control de mandos. El lenguaje textual se utiliza para definir la lógica y la secuencia del programa mientras que las localizaciones de los puntos específicos en el espacio de trabajo se definen utilizando el control con el dispositivo de mandos. Se puede pensar en ello como en un método de programación dentro/fuera de línea, en el sentido que el propio programa puede escribirse fuera de línea con el lenguaje textual, mientras que los puntos se deben definir dentro de la línea con el control de mandos.

--Lenguajes textuales de robot. El WAVE fue el primer lenguaje textual de robótica, desarrollado en 1973 como un lenguaje experimental. La investigación se hizo con un robot interconectado a un sistema de visión de máquina empleando el lenguaje WAVE. La investigación demostró la posibilidad de coordinación mano-ojo del robot. El siguiente lenguaje se desarrolló en 1974 en Stanford, fue llamado AL y se utilizó para controlar múltiples brazos en tareas que requerían la coordinación entre los brazos. El primer lenguaje de robot comercialmente disponible fue el VAL (Victor's Assembly Lenguaje, en honor a Victor Scheinman). Fue introducido en 1979. Este lenguaje fue reemplazado por VALII y lanzado al mercado en 1984. Dos de los lenguajes de IBM son el AUTOPASS y el AML el segundo de los cuales ha estado disponible desde 1982 con los productos de robótica de IBM. Los dos lenguajes están dirigidos a las tareas de ensamblaje y similares. Algunos otros lenguajes textuales son el RAIL utilizado para la fabricación en robótica y la soldadura de arco, así como la visión de máquina; MCL desarrollado como mejora del APT lenguajes de programación de un elemento de C/N.

-- Generaciones de los lenguajes de programación de los robots. Los lenguajes textuales de robots está todavía en desarrollo.

-- Primera generación de lenguajes. La primera generación utiliza una combinación de órdenes y procedimientos del dispositivo suspendido (Control de mandos), para el desarrollo de los programas de robot. Fueron desarrollados para implantar un control de movimiento con un control de lenguaje de programación textual. Entre las características típicas se incluye la posibilidad de definir los movimientos del manipulador. En otras palabras la primera generación de lenguajes posee capacidades similares a los métodos de dispositivos suspendidos de enseñanza. Pueden utilizarse para definir la secuencia de movimientos del manipulador, tienen las capacidades entrada/salida y se pueden utilizar para escribir subrutinas.

-- Lenguajes de la segunda generación. Activan al robot para que realice tareas más complejas. estos lenguajes han sido llamados lenguajes de programación estructurada, porque poseen las construcciones de control estructuradas utilizadas en los lenguajes de programación de la computadora. Entre los lenguajes de la segunda generación aprovechados comercialmente se encuentran el AML, RAIL, MCL, y el VALII. La programación de estos lenguajes es muy similar a la programación de computadoras.

Las características y capacidades de estos lenguajes son: Control de movimientos, capacidades de sensor avanzadas, inteligencia limitada y comunicaciones y procesamientos de datos.

-- Lenguajes de la futura generación. Estos lenguajes implicarán un concepto llamado modelación universal. Otro de los términos que se utilizan son lenguajes basados en modelo y lenguajes de tarea-objeto. En un esquema de programación basada en una modelación universal, el robot procesa, el conocimiento de las tres dimensiones universales y es capaz de desarrollar su propio procedimiento paso a paso para realizar una tarea basada en un objetivo expuesto de lo que se va a realizar.

Existen dos ingredientes básicos de un lenguaje de programación basado en un sistema de modelación universal, el primero es que el sistema de robot tiene en su memoria de control, un modelo tridimensional de su entorno de trabajo. El segundo es la capacidad para su propia programación automática.

-- **Estructura de los lenguajes de robot.** Los lenguajes de la segunda generación representan los avances más recientes de los lenguajes textuales. Debe ser capaz de soportar la programación del robot, el control del manipulador del robot y la interconexión con los periféricos dentro de la célula de trabajo. También soportaría las comunicaciones de datos con otros sistemas de computadora en la fábrica.

-- **Control del programa y subrutinas.** En la escritura de un programa de robot suele ser necesario ejercer control sobre la secuencia en que se ejecutan las sentencias mediante bifurcaciones y subrutinas. Una diversidad de instrucciones están disponibles en los lenguajes de robot textuales para controlar el flujo lógico de programa y para nombrar y utilizar subrutinas dentro del programa.

Tabla 4.2 Teclas de la Caja de Enseñanza.

TECLA	SIGNIFICADO
Joint	Articulación
Speed	Velocidad
Control Off/on	Control encendido/apagado
Abort	Cancelar al comando
Base	Base
Shoulder	Hombro
Elbow	Codo
Pitch	Muñeca
Roll	Girar muñeca
Open	Abrir dedos
Close	Cerrar dedos
Record position	Grabar posiciones
Go position	Ir a la posición
Group Selection	Seleccionar Grupo
Enter	Ejecutar comando

Figura 4.10 Control de mandos de Enseñanza**Tabla 4.3 Resumen De Descripción De Comandos**

ACL = ADVANCE CONTROL LANGUAGE FORMATO	DESCRIPCIÓN
Comandos directos:	
DIMP{A/B} <pvect[n]> DIMPbLETRA(20)	Donde pvect es un vector de n posiciones El primer caracter del nombre del vector debe ser una letra
ATTACH<pvect> ATTACHbLETRA ATTACH OFF A/B	Une el vector especificado de posiciones a la caja de enseñanza Elimina la unión del vector de posiciones con la caja de enseñanza
ATTACH ?	Despliega el estado actual del comando ATTACH
Comandos de edición:	
EDIT<prog>	Activa el modo de edición y llama al programa prog., si no se encuentra a prog crea un nuevo programa con ese nombre
P	Se va a una línea anterior en el programa
s{< Numero de renglón>}	S mueve al editor a la primera línea del programa s{< Numero de renglón>} mueve el editor al renglón especificado.
Enter	En modo edit se va a la siguiente línea del programa y despliega su número.
DEL	Borra el renglón anterior del que se escribe el comando DEL
EXIT	Se sale del modo de edición y verifica la sintaxis y lógica del programa

Comandos de edición y directos:

SPEED {A/B}<valor>	Determina el valor de la velocidad. LA máx. Vel es 100, la mínima es 1 , por omisión es 50. Es la velocidad para todos los ejes
MOVED <pos>	Asegura que las operaciones definidas en el programa se ejecuten simultáneamente
MOVELD<pos1>	Mueve al robot con una trayectoria lineal de la posición actual a la posición pos1
MOVEC<pos1><pos2>	Mueve al robot con una trayectoria circular, de su posición actual a la posición pos1, a través de la pos2
RUN <prog>	Ejecuta el programa prog

Comandos directos:

LIST{<prog>}	Despliega todas las líneas del programa prog. Si se quiere detener lo que se esta desplegando, presione simultáneamente las teclas Ctrl y S, para continuar presione la tecla enter dos veces. Si ya no los quiere ver presione Ctrl C
A{<prog>}	A Aborta inmediatamente todos los programa y detiene el movimiento de todos los ejes A<prog> Aborta únicamente el programa especificado
REMOVE<prog>	Borra el programa especificado
GLOBAL <var1>	Define variables globales por el usuario
DIMG<var[N]>	Define un vector de variable global de n elementos
PRINT<arg1>	Despliega cadena de caracteres y valores en la pantalla
DEFINE <var1>	Define variables locales
LABEL<num>	num es un numero de 0 a 9999. Marca el principio de una subrutina, la cual se ejecuta cuando se da el comando GOTO
GOTO<num>	Se va a la línea que esta inmediatamente después de LABEL<num>. LABEL y GOTO deben estar incluidos en el mismo programa.
GOSUB<prog>	Transfiere el control del programa principal a prg, empezando por la primera línea de prog. Cuando se llega al comando END, el control regresa al programa principal, al comando que sigue de GOSUB
IF <var1> <cond> <var2>	Donde cond es una de las siguientes condiciones:<, >, =, <=, >=, > <.

READ"Escriba el valor de X" X se verá en pantalla

X

PRINTLN<arg>

4.5 APLICACIONES INDUSTRIALES

Los robots tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria. Actualmente la mayoría de las aplicaciones están en los procesos de fabricación para el desplazamiento de materiales, piezas y herramientas de diversos tipos. Las futuras aplicaciones incluirán tareas de otro tipo como trabajos de construcción, exploración de espacio y cuidados médicos. Se piensa que en un futuro un robot casero será un elemento de producción en serie de igual utilización como el automóvil actualmente.

IV. Categorización por Aplicación del robot.

Las aplicaciones industriales de robot actualmente se dividen en tres categorías:

1. Aplicaciones de manipulación de materiales y de carga y descarga de máquina. Aquí la función del robot es desplazar materiales o piezas de un lugar a otro dentro de la célula de trabajo. Dentro de la actividad de manipulación de materiales está incluida la carga y/o descarga de una máquina de producción.

2. Aplicaciones de procesos. Incluye la soldadura por puntos, la soldadura por arco, la pintura por pulverización y otras operaciones donde el robot manipula una herramienta dentro de la célula de trabajo.

3. Montaje e inspección. El montaje robótico es un campo en que la industria tiene gran interés debido a su potencial económico. Los robots de inspección utilizan sensores para calibrar y medir características de calidad del producto fabricado.

En 1984 había 2623 robots en operación en Inglaterra. La distribución en aplicaciones conocida eran:

Soldadura por puntos	471
Moldeo por inyección	412
Soldadura por arco	341
Servicio a máquinas herramientas	213
Ensamble	199
Recubrimiento de superficies	177
Diversos	175
Movimiento de charolas	102
Pruebas de inspección	41
Fundición por inyección	40
Pegado y sellado	23
Fundición a la cera pérdida	14

Muchas compañías requieren un análisis económico para ser desempeñada y justificada la inversión en un robot de celda. La justificación de un robot es algunas veces difícil cuando son usados métodos convencionales de análisis de inversión. Por consiguiente, el análisis deberá incluir el resultado de la reducción de inventario, mejoramiento de calidad, capacidad, y otros factores que frecuentemente son olvidados en el tradicional análisis económico.

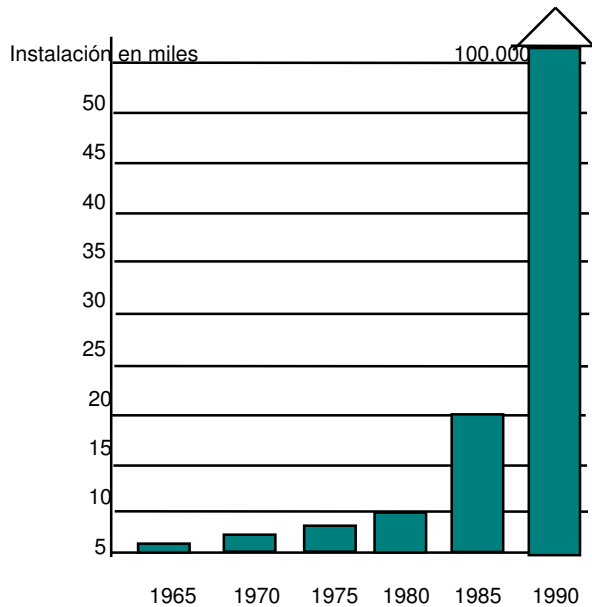
Diversas investigaciones entre usuarios industriales muestran las razones de la industria para la incorporación de robots como es mostrado en la tabla 4.4

Tabla 4.4 Mejoras en la Industria

Industria Japonesa	
ahorro de mano de obra	44.5%
mejoramiento de las condiciones laborales	24.6%
mayor flexibilidad	13.5%
facilidad del control de la producción	8%
Industria Alemana	
<ul style="list-style-type: none">• aumento de la productividad• reducción del costo de la mano de obra• rendimiento de la inversión• mejoramiento de la calidad• condiciones de trabajo más humanas.	

Estos estudios, asignan un peso enorme a la reducción en los costos de mano de obra. Esto es particularmente importante por dos razones: el costo de la mano de obra ha aumentado en un factor de 2.5 a 4 durante los últimos 10 años; el costo por hora de un robot, tomando en cuenta la depreciación, el pago de intereses, el mantenimiento, etc., se ha reducido en aproximadamente un 15 % durante el mismo periodo.

La figura 4.11 muestra la gráfica que senala el incremento de Robots instalados en la industria hasta el año de 1990. (Realizado por la Cía C. Milacron



Ya se ha dedicado algún tiempo a enumerar las limitaciones del operador humano y a mostrar como la mecanización y la automatización han llegado al rescate. Los robots:

- **Pueden ser más fuertes**, lo que permite levantar pesos considerables y aplicar mayores fuerzas.
- **No se cansan** y pueden trabajar fácilmente las veinticuatro horas del día. No necesitan descansos para comer, y rara vez se enferman.
- **Son consistentes**. Una vez que se han instruido para realizar un trabajo pueden repetirlo con un alto grado de precisión. El desempeño humano tiende a deteriorarse con el paso del tiempo.
- **Son casi completamente inmunes a su ambiente**. Pueden trabajar en entornos extremadamente fríos o calientes, o en áreas donde existe el peligro de gases tóxicos o radiación. Manipulan objetos con temperaturas muy elevadas. Son capaces de trabajar en la oscuridad.

Los robots producen niveles de calidad superiores y trabajan a mayor velocidad que los aprendices y que los oficiales de trabajo. Se pueden programar para que realicen la tarea de operarios calificados (en este caso no operarios de máquinas-herramienta como en N/C, sino soldadores, ensambladores y pintores). Esto dará origen a fábricas con automatización flexible donde los robots realizarán el trabajo de seres humanos.

Ahora se dispone de la tecnología del control, pero el precio para lograr estas metas puede ser demasiado elevado. Esta es una consecuencia lógica de la revolución del control numérico (el uso de una computadora para dirigir una máquina con base en un programa diseñado por controlador humano). ¿Esto es bueno o malo para la

sociedad?. Se debe considerar bueno, ya que libera al ser humano de realizar trabajo esclavizado en una línea de producción o de trabajo incomodo y posiblemente peligroso. Los seres humanos producen herramientas cada vez mejores de manera que se pueda ejercitar el intelecto y que las máquinas realicen el trabajo pesado para poder sostener el estándar de vida.