

Una introducción a la Robótica Industrial

*Iván Olier Caparroso**, *Oscar Avilés***
*Juan Hernández Bello****

Resumen

La Robótica Industrial constituye hoy, una de las más importantes áreas de investigación y desarrollo tecnológico. Este artículo trata en forma global qué es robótica industrial y cómo es la estructura interna de un robot típico. Inicialmente se presentan los antecedentes de la robótica, la definición y sus componentes. A continuación se presentan las características de los diferentes sistemas que conforman un robot.

Palabras Claves

Robot, Robótica Industrial, Componentes de un Robot, Estructura de un Robot, Configuraciones, Accionamientos, Elementos finales de control, Sensores y Control.

1. Antecedentes

El término **ROBOTICA** fue introducido a nuestro vocabulario por el escritor checo Karel Capek (1890-1938) en su obra *Rossum's Universal Robots*, en 1920. La palabra proviene del verbo eslavo "*Robotat*" cuyo significado es trabajar. No obstante, este término ha formado parte, durante decenios, del vocabulario de la ciencia-ficción.

Como antecedente de estos sistemas automáticos se pueden encontrar gran número de dispositivos ingeniosos, dotados de elementos mecánicos, que les permiten realizar movimientos similares a los humanos.

El nacimiento del robot se debe a la fusión de dos tecnologías: los *teleoperadores* y el

* Ingeniero Mecánico, Docente Programa de Ingeniería Mecatrónica, Jefe área de Computación, Universidad Militar Nueva Granada.

** Ingeniero Electrónico, Docente Programa de Ingeniería Mecatrónica, Jefe área de Electrónica, Universidad Militar Nueva Granada.

*** Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional.

control numérico. Los teleoperadores fueron desarrollados tras la segunda guerra mundial y su aplicación inicial fue en el manejo de sustancias radioactivas sin riesgo para el operario. Estos consistían de un servo que, mediante dispositivos mecánicos, repetía las acciones que el operador realizaba simultáneamente.

El control numérico computarizado (C.N.C.) fue desarrollado por los requerimientos de precisión en cierta maquinaria, como la que se utilizaba en la fabricación de piezas para aviones.

Los primeros robots combinaban esencialmente los eslabones mecánicos de los teleoperadores con la autonomía y programabilidad de las máquinas C.N.C.

En la primera mitad de los años setenta, también se crean las primeras asociaciones nacionales de robótica, siendo las más importantes la **JIRA** (*Japan Industrial Robot Association*), la **RIA** (*Robot Institute of America*) y la **AFRI** (*Association Francaise de Robotique Industrielle*).

IBM se introdujo en 1979 en el campo del diseño sobre automatización industrial, con su primer sistema CAD/CAM, cuyo éxito condujo a la presentación de sus robots industriales en 1982, dedicados al ensamblaje de piezas de pequeño tamaño, especialmente componentes electrónicos.

En 1984 ofreció en sus catálogos los sistemas 7535, 7540, 7545 y 7565 con los que

logró ocupar el séptimo lugar del ranking mundial de robots industriales¹

2. Definición del Robot Industrial

Existen varias definiciones formuladas por diversas asociaciones, lo cual ha creado una confusión en la limitación del término. Sin embargo en los últimos años la definición dada por el RIA es la adoptada por la mayoría de los expertos en el tema: "*Un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional, diseñado para mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según variadas trayectorias, programadas para realizar diferentes trabajos.*"

Esta definición excluye a los manipuladores manuales o secuenciales (considerados en el concepto japonés como robots) que si bien pueden efectuar distintas tareas, éstas solo pueden ser cambiadas mediante alteraciones de su estructura mecánica, no teniendo la capacidad de programar movimientos según variadas trayectorias.

La idea mas ampliamente reconocida como robot está asociada a la existencia de un dispositivo digital de control que, mediante la ejecución de un programa almacenado en una memoria, va dirigiendo los movimientos de un sistema mecánico. En él, un cambio de trabajo a realizar se ordena cambiando el correspondiente programa.

¹ ANGULO, José María, Robótica, tecnología y aplicaciones. Paraninfo:1995. P 53.

Es importante aclarar que las aplicaciones de los robots no están limitadas únicamente a aquellos trabajos industriales donde los robots reemplazan directamente a un trabajador humano. Existen muchas otras aplicaciones de la robótica donde la labor humana es impráctica e indeseable, algunas de ellas están bajo el mar y en exploración planetaria, en la recuperación y reparación de satélites, el ensamble y desensamble de unidades explosivas y el trabajo en ambientes radioactivos. Este tipo de robots es conocido como robots de servicios y su desarrollo se ha incrementado en los últimos años debido a la necesidad de proteger a las personas en los trabajos que implican riesgo. Para el desarrollo de estos sistemas se requieren métodos de análisis y diseño similares a los de los manipuladores industriales.

3. Componentes y Estructura de un Robot



Figura 1. Configuración general del robot

En la figura 1. se observa los cuatro sistemas básicos que conforman un robot y su forma de interrelacionar.

3.1 Sistema mecánico (manipulador)

Está constituido por la estructura mecánica, formada por una serie de elementos rígidos denominados eslabones, unidos entre sí por articulaciones. A esta cadena de eslabones, en donde un extremo permanece fijado en la base (soporte), mientras que el extremo final queda libre y está equipado con el efector final (herramienta para manipular objetos o realizar tareas de montaje), se le denomina *cadena cinemática abierta*.

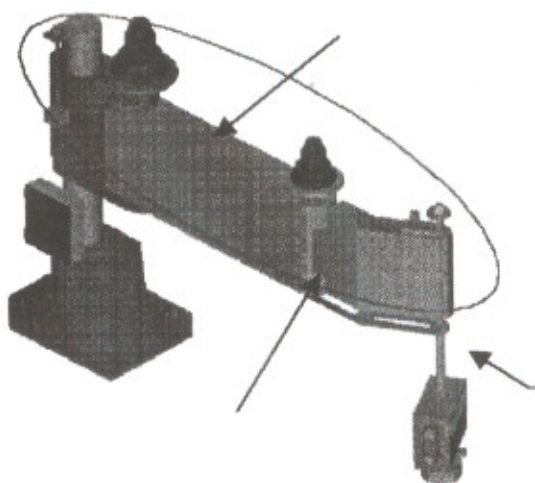


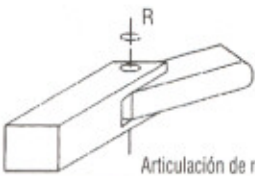
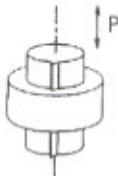
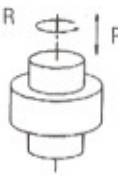
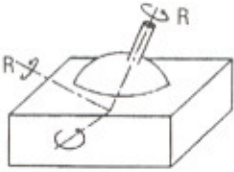
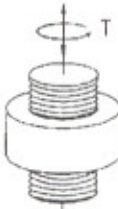
Figura 2. Estructura de un robot

Los eslabones conforman tres dispositivos denominados *brazo*, *muñeca* y *elemento final*, como se observa en la figura 2. El brazo es el responsable del posicionamiento del elemento final mientras que la muñeca se ocupa de su orientación.

3.2 Tipos de articulaciones en los manipuladores

Los tipos de articulaciones utilizados en la robótica con sus principales características se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Articulaciones de los robots industriales

Nombre	Esquema general	Características
<i>Revolución</i>	 <p>Articulación de revolución</p>	Permite el giro relativo entre dos eslabones.
<i>Prismática</i>	 <p>Articulación prismática</p>	Permite la traslación relativa entre dos eslabones.
<i>Cilíndrica</i>		Permite un giro y una traslación.
<i>Esférica</i>	 <p>Articulación esférica</p>	Permite la rotación en tres direcciones.
<i>De tornillo</i>		Proporciona una rotación y una traslación que es función de la rotación

4. Configuración Cinemática del Robot

Aunque en principio un manipulador es un instrumento de propósito general, en la práctica se diseña de acuerdo a una apli-

cación específica, por ejemplo soldadura, manipulación de materiales, ensamble, etc. Estas aplicaciones implican diferencias en algunos parámetros del manipulador, incluyendo su estructura cinemática.

Los manipuladores se clasifican cinemáticamente de acuerdo a la configuración de su brazo (primeras tres articulaciones) dejando la muñeca para describirla separadamente. La mayoría de los manipuladores están configurados dentro de los siguientes cinco tipos: *cartesiano(PPP)*, *cilíndrico (RPP)*, *esférico (RRP)*, *articulado (RRR)* y *SCARA (RRP)*.

4.1 Configuración cartesiana (PPP)

Este manipulador se caracteriza porque sus tres primeras articulaciones son prismáticas y las variables de la articulación son las coordenadas cartesianas del efector final con respecto a la base. Esta es la más simple de todas las configuraciones y se utiliza principalmente en aplicaciones de ensamble sobre mesa y transferencia de materiales.

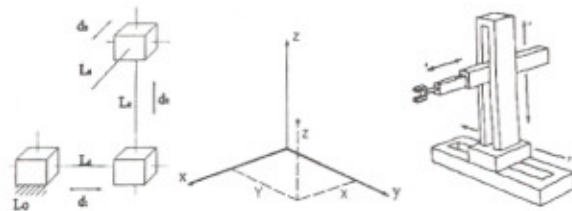


Figura 3. Configuración PPP

4.2 Configuración cilíndrica (RPP)

La primera articulación es de revolución y produce una rotación alrededor de la base mientras que la segunda y tercera son prismáticas. Como su nombre lo indica, las variables de la articulación son coordenadas cilíndricas del efector final con respecto a la base.



Figura 4. Configuración RPP

4.3 Configuración esférica (RRP)

Las dos primeras articulaciones son de revolución mientras que la tercera articulación es prismática. Las coordenadas esféricas definen la posición del efector final con respecto al sistema de coordenadas de la base.

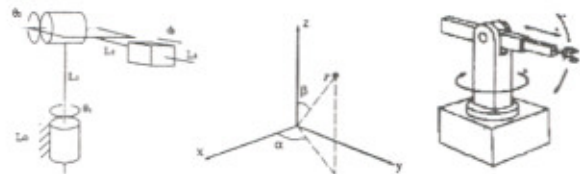


Figura 5. Configuración RRP

4.4 Configuración articulada (RRR)

También llamado manipulador antropomorfo por su semejanza con el brazo humano posee tres articulaciones de revolución lo que le permite gran libertad de movimiento en un espacio reducido; puede ser utilizado en una diversidad de aplicaciones debido a su flexibilidad.

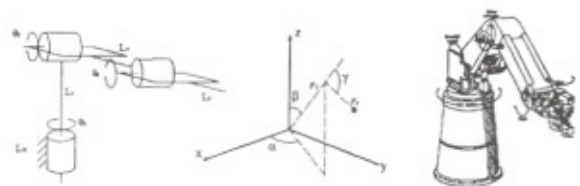


Figura 6. Configuración RRR

4.5 Configuración SCARA (RRP)

El manipulador SCARA (*Selective Compliant Articulated Robot for Assembly*) es una configuración muy popular y relativamente reciente que, como su nombre lo indica, está diseñado para operaciones de ensamble. Aunque tiene una configuración RRP, es diferente a la configuración esférica tanto en apariencia como en rango de aplicaciones.

Los ejes de las dos primeras articulaciones de revolución son verticales haciendo que los eslabones se muevan en un plano horizontal mientras el que el eslabón 3 se mueve según un eje vertical. En esta configuración las fuerzas gravitatorias, centrífugas y de Coriolis no cargan la estructura en la medida que ocurre en las demás configuraciones.

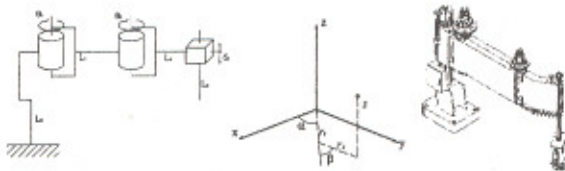


Figura 7. Configuración RRP

5. Accionamiento del Sistema Mecánico

Actualmente existen tres formas de accionar las articulaciones de un robot industrial. Dos de las cuales se basan en la presión de un fluido, como son: Los accionamientos que utilizan un fluido incompresible, *accionamientos hidráulicos* y los que utilizan fluido compres-

sible, *accionamientos neumáticos*, y los que utilizan la energía eléctrica, ver figura 8.

- El **accionamiento neumático** utiliza aire comprimido a presión inferior a 10 atmósferas para accionar generalmente cilindros neumáticos lineales. El peso reducido de estos dispositivos y la flexibilidad de los conductos de alimentación de aire los hace adecuados, en principio, para actuar sobre articulaciones prismáticas. Sin embargo, debido a la compresión del aire, es difícil controlar el posicionamiento en puntos intermedios de los cilindros, utilizándose sólo en movimientos de carrera fija. Esto, junto con las fricciones en las partes móviles, oxidación de los elementos de control y gran nivel de sonoridad, hace que su empleo sea escaso como accionamiento directo de las articulaciones. No obstante, es ampliamente utilizado en los elementos finales.

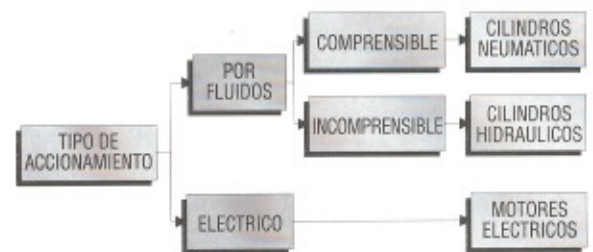


Figura 8. Tipos de accionamientos en robótica según la energía utilizada.

- El **accionamiento hidráulico** utiliza líquidos, que suelen ser aceites, a presión inferior a 100 atmósferas para accionar motores hidráulicos. Este tipo de accionamiento es el que tiene la

mejor relación torque/peso en la articulación, característica de gran importancia en robótica, permitiendo a los robots transportar elevadas cargas. La regulación de la posición con accionamiento hidráulico es más exacta que con el accionamiento neumático pero, en la mayoría de los casos, no lo suficiente. Asimismo, se pueden señalar como desventajas la necesidad de un filtro de aceite, necesidad de eliminar el aire, transmisión de aceite a las partes móviles y un elevado tiempo de mantenimiento.

- **El accionamiento eléctrico** es el que se utiliza en la inmensa mayoría de los robots actuales. Su gran ventaja, en comparación con los demás accionamientos, es que permite una precisa y fácil regulación de la posición a través de servomecanismos. Los motores más utilizados son de dos tipos: de *paso a paso* y de *corriente continua*. Los primeros son utilizados en movimientos en los cuales no se requieren grandes esfuerzos. Los motores de corriente continua (DC) más usados son los denominados de baja inercia, en los cuales el rotor es un ligero disco. Su inducido está formado por imanes permanentes que permiten conseguir una buena relación entre peso e inducción la cual se mantiene al variar la temperatura. Estos motores son muy sensibles a las sobrecorrientes por lo que requieren múltiples protecciones. Como su velocidad nominal es, generalmente del orden de 3000 r.p.m., se necesitan reductores para lograr

mover las articulaciones a velocidades mucho más bajas y proporcionar un elevado torque. Estos reductores suelen ser de diseño especial, de material deformable.

El accionamiento en la robótica siempre es independiente para cada articulación y puede ser directo (los actuadores se encuentran muy cerca de las articulaciones) o indirecto (los actuadores se encuentran generalmente en la base del robot). Para accionamientos directos existen dos formas de acoplar el motor a la articulación, el acoplamiento directo y el acoplamiento por medio de reductor (o indirecto). El accionamiento por fluido utiliza acoplamiento directo, mientras que los motores eléctricos pueden tener acoplamiento directo o indirecto.

5.1 Motorización de las estructuras de los robots

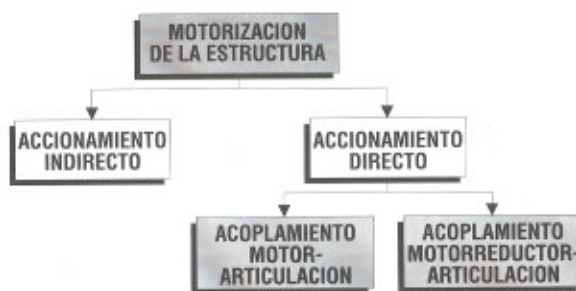


Figura 9. Diferentes tipos de Motorización de la estructura del robot.

- **El accionamiento directo con acoplamiento motor-articulación** requiere de motores de elevado torque y baja

velocidad. Estos motores son voluminosos y pesados lo que produce en el robot una estructura robusta. Conceptualmente es la mejor opción porque elimina problemas de holguras, rozamientos, pérdida de potencia, deformaciones, imprecisiones y deslizamientos en las transmisiones. Tiene como desventaja apreciable los riesgos de variaciones de carga debido a las velocidades bajas de los motores, su difícil controlabilidad y el alto costo de los motores. Este tipo de accionamiento tiene su uso más extendido en robots como el *ADEPT ONE* de configuración *SCARA* para altos desempeños.

- **Accionamiento directo con acoplamiento motorreductor-articulación.** El reductor tiene como parámetros importantes la *relación de transmisión* ($Rev.Salida/Rev.Entrada$) y el *rendimiento* ($Potencia Salida/Potencia Entrada$); su finalidad en robótica, como en la mayoría de las máquinas, es disminuir velocidad y aumentar el torque. La utilización del reductor tiene mucha difusión porque se trabaja con motores más pequeños y livianos que los utilizados en el acoplamiento directo.

El juego en los reductores se define como el ángulo máximo de entrada que no produce respuesta en la salida. Esto tiene como consecuencia la pérdida de linealidad del control de movimiento. La pérdida de potencia se debe a los rozamientos

en la transmisión del par y también conlleva a la no-linealidad del control. Las eficiencias más altas que puede alcanzar un reductor son del orden del 90%.

Es necesario recalcar que el uso de motorreductores no resuelve el problema de raíz debido a que su ubicación está cerca de las articulaciones, sin embargo es una solución que ha tenido acogida en muchos sistemas por su buen equilibrio eficiencia-costos.

- **Accionamiento indirecto motor-articulación.** Es ventajoso para la estructura del robot, debido a que el motor se ubica en posiciones remotas a la articulación o en sitios de bajas o nulas aceleraciones y velocidades. La masa y el tamaño de las articulaciones en la estructura se reduce notablemente disminuyendo de ésta sus solicitudes de esfuerzos y fatiga.

Para aumentar la rigidez de las transmisiones es necesario precargarlas, adicionando así esfuerzos a la estructura y disminuyendo su rendimiento.

Los costos añadidos debido a las transmisiones desde la base a cada articulación deben evaluarse para cada sistema específico, y comparar si son mayores o menores que los otros sistemas de acoplamiento y accionamiento.

Este tipo de accionamiento es muy común en las articulaciones de la muñeca y últimas extremidades.

6. Muñeca y elementos finales de los Robots

La muñeca de un manipulador se refiere a las articulaciones en la cadena cinemática entre el brazo y la mano (ver figura 2), o efector final. Muchos manipuladores se han diseñado con muñecas esféricas, cuyos ejes de articulación se interceptan en un punto común como se muestra en la figura 10.

La muñeca esférica permite simplificar el análisis cinemático ya que es posible desacoplar la posición y la orientación del elemento final.

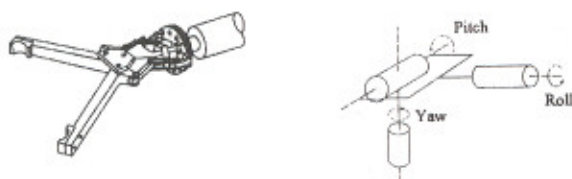


Figura 10. Configuración general de la muñera de un robot.

Las funciones del brazo y la muñeca son las de posicionar y orientar el efector final y alguna herramienta que éste puede llevar, pero es él o su herramienta quien realmente ejecuta el trabajo.

Existen múltiples elementos finales de los robots, según las operaciones a ejecutar: soldadores, fresas, pistolas de pintura, ventosas, etc.; no obstante, el elemento final más común son las pinzas o garras, que usualmente son capaces de realizar dos acciones, abrir y cerrar. Existen múltiples configuraciones de pinzas; en el caso

de pinzas con dos dedos hay básicamente cuatro diseños mecánicos que se pueden observar en la figura 11. Las pinzas con más de dos dedos son escasas en aplicaciones industriales.

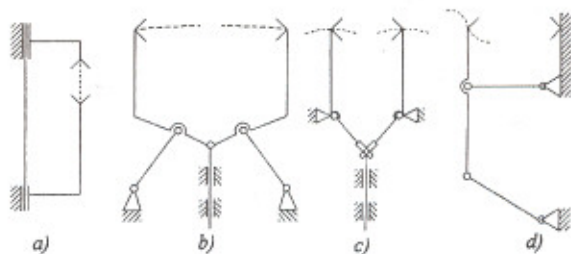


Figura 11. Diseños mecánicos de pinzas.

7. Sensores del Robot

Los sensores internos permiten al sistema de control conocer la posición de las articulaciones del robot. Cada articulación cuenta con sus propios sensores, los cuales suelen situarse lo más cerca posible a su correspondiente articulación para evitar los errores de medición. Independientemente del tipo de articulaciones del robot los accionadores normalmente son de rotación, como los motores eléctricos o hidráulicos, por lo que los sensores de posición y velocidad que se emplean son angulares.

7.1 Sensores de posición

Los sensores de posición comúnmente utilizados en robótica son los *encoders*, los *resolvers* y los *potenciómetros*. Los más utilizados por su precisión son los *encoders*, de

ellos existen dos tipos: absoluto e incremental. Los *encoders* absolutos producen como salida un código digital distinto que indica cada incremento menos significativo de revolución. Por otro lado, los codificadores incrementales proveen un pulso por cada incremento de resolución pero no hace distinciones entre dichos incrementos. Un codificador incremental típico rotativo tiene cuatro partes básicas: una fuente de luz, un disco giratorio, una máscara estacionaria y un detector, como se presenta en la figura 12.

El disco tiene sectores opacos y transparentes distribuidos en forma alterna. Un par de esos sectores representa un periodo incremental. La máscara se utiliza para dejar pasar o bloquear la luz entre la fuente de la luz y el fotodetector localizado detrás de ella. Para codificadores con resolución fina (hasta miles de incrementos por revolución) a menudo se utiliza una máscara múltiple para maximizar la recepción de la luz. Las formas de onda de las salidas de los detectores son generalmente de tipo rectangular o senoidal, en función de la resolución requerida. Las señales de onda cuadrada compatibles con lógica digital se obtienen al utilizar un amplificador lineal seguido por un comparador.

Se necesita un codificador de dos canales con dos juegos de pulsos de salida para detectar dirección y otras funciones de control. Cuando la fase de los dos trenes de pulsos de salida es de 90° eléctricos, se dice que las dos señales están en cuadratura. Esto se ilustra mas claramente en la figura 13.

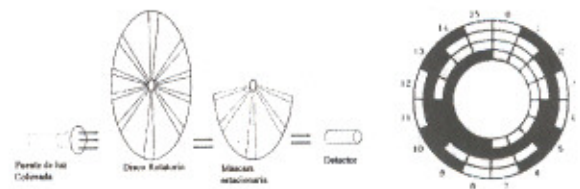


Figura 12. Encoder óptico incremental.

Las señales definen únicamente transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0 con respecto a la dirección de la rotación del disco codificador, de esta forma se puede construir el circuito lógico de detección de la dirección para decodificar dichas señales. Conociendo la resolución del codificador, número de pulsos por revolución, es posible calcular el ángulo girado de la articulación.

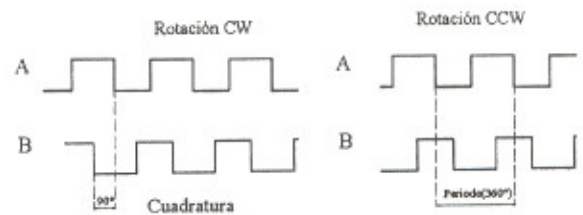


Figura 13. Señales de voltaje generadas por el codificador (*encoder*).

7.2 Sensores de velocidad

Existen dos maneras de medir la velocidad de giro de la articulación: derivando la posición o utilizando un tacómetro.

En el caso de la derivación de la posición se tiene la ventaja de eliminar el sensor de velocidad, sin embargo, este método no se utiliza en los robots industriales puesto que a grandes velocidades la precisión conseguida es baja y a pequeñas velocidades existe el riesgo de inestabilidad del robot.

Los tacómetros presentan buena linealidad (del orden del 0.1%) y permiten medir con una precisión aceptable de velocidad. Son dispositivos electromecánicos que convierten energía mecánica en energía eléctrica. El dispositivo trabaja esencialmente como un generador de voltaje con la salida de voltaje proporcional a la magnitud de la velocidad angular del eje de entrada. En robótica la mayoría de los tacómetros empleados son de la variedad DC.

Para combinar bajo costo con alto desempeño los servomotores DC incorporan un tacómetro montado sobre el eje del motor y encerrado en la carcasa como el que se ilustra en la figura 14.

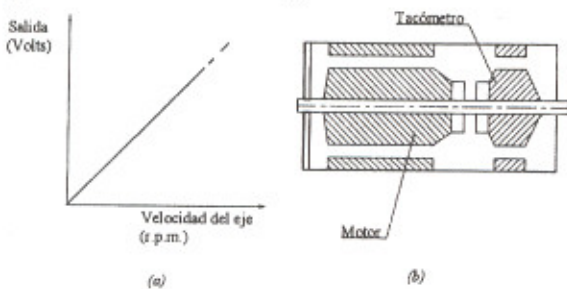


Figura 14. a) Características de salida de un tacómetro; b) Motor con tacómetro incluido.

7.3 Sensores de finales de carrera

Estos sensores están ubicados cerca de la articulación y se encargan de producir una señal cuando el eslabón está llegando al límite del recorrido como se observa en la figura 15. Son muy importantes por razones de seguridad.

Generalmente las articulaciones poseen levas solidarias al eje de giro cuyo acercamiento al sensor (sin contacto), indica el límite del desplazamiento lo que produce un cambio en la señal de voltaje que el sensor envía al controlador.

Este tipo de sensores se conocen como *sensores inductivos* y su funcionamiento se basa en el principio de detección inductiva que permite influenciar desde el exterior un oscilador de alta frecuencia complementado por un circuito resonante LC. Un núcleo de ferrita con un bobinado oscilante genera por encima de la cara sensible del sensor un campo magnético variable. Al introducir una placa metálica en este campo magnético se producen corrientes de Foucault que influyen el oscilador y provocan una debilitación del circuito oscilante (ver figura 16). Como consecuencia se produce una disminución de la amplitud de las oscilaciones (amortiguación). Un circuito de conmutación detecta esta variación de amplitud y determina una señal definida de la etapa final.

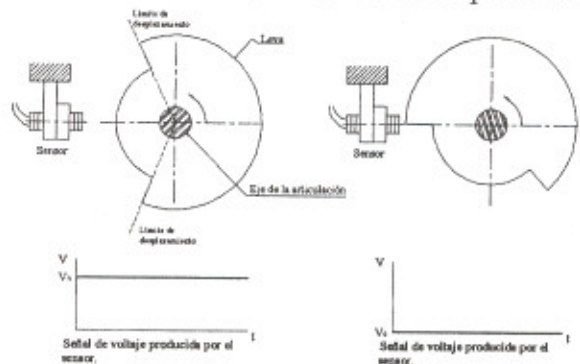


Figura 15. Funcionamiento del sensor para límites de carrera.

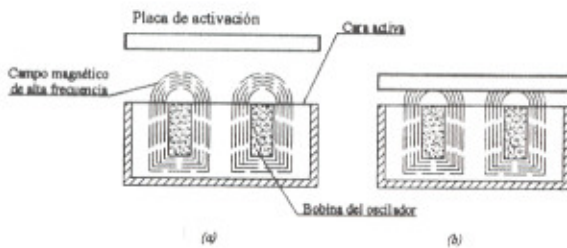


Figura 16. Sensor inductivo. a) Inactivo; b) Activo.

8. Generalidades del control del Robot

El sistema de control tiene como misión gobernar los movimientos del robot necesarios para llevar a cabo una tarea concreta. Esta puede consistir en un movimiento aislado o en un programa de movimientos almacenado en la memoria del computador.

El esquema del sistema de control de un robot se presenta en la figura 17, donde están separadas dos partes fundamentales: el control cinemático y el control dinámico.

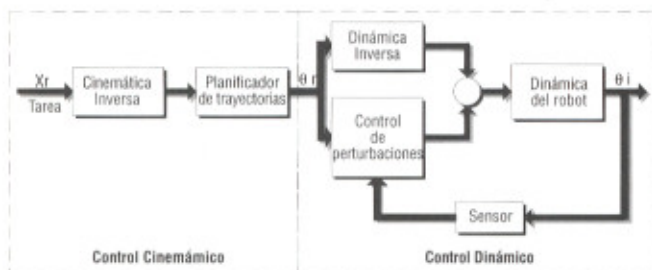


Figura 17. Sistema de control de un robot industrial.

8.1 Control cinemático

Tiene como misión generar, a partir de la tarea, las referencias angulares $\theta_i^r(t)$, $i=1,2,\dots,n$, de los servos de posición de cada articulación, siendo n el número de éstas. Para ello se necesita efectuar un cálculo de las trayectorias de los movimientos entre los distintos puntos. La generación de tareas produce un vector de posición de referencia cartesiana $X^r(t)$, a partir del cual, mediante un algoritmo denominado Cinemática Inversa, se obtienen los ángulos de referencia $\theta_i^r(t)$.

El diseño del control cinemático de un robot incluye tres pasos fundamentales: primero, modelamiento cinemático, segundo, solución de los problemas cinemáticos inverso y directo y tercero cálculo de las trayectorias.

8.2 Control dinámico

El control dinámico del robot se basa en la utilización de un modelo dinámico que, teniendo en cuenta las fuerzas de inercia y rozamiento además de las estáticas, permita determinar la fuerza o torque que deberá ejercer cada accionador para conseguir el movimiento deseado del robot. Tiene como misión llevar a cada una de las articulaciones $\theta_i^r(t)$ al valor de referencia θ_i^r generado por el control cinemático. Esto se realiza mediante los servos de posición que tienen como referencia $\theta_i^r(t)$.

El diseño del control dinámico de un robot se inicia con la obtención del modelo dinámico.

8.3 Arquitectura hardware del sistema de control

El sistema de control está formado por uno o varios computadores que permiten controlar en tiempo real los movimientos del robot a través de la información que suministran los sensores internos; para ello dispone de complejos algoritmos de control. Las operaciones fuera de línea relacionadas con la edición, preparación, almacenamiento y ejecución del programa de movimiento se llevan a cabo mediante el sistema operativo. Por último, dado que el sistema de control intercambia información con el exterior, existe un potente bloque de entradas salidas (E/S).

Existen múltiples arquitecturas hardware del sistema de control relacionadas estructuralmente con la potencia de cálculo necesaria y la disponibilidad de los microprocesadores. Las arquitecturas más representativas son:

- **Un procesador.** La figura 18 representa la estructura hardware original del robot IBM 7540, que corresponde a una arquitectura con un solo microprocesador. El procesador aritmético ayuda en los cálculos trigonométricos necesarios para resolver la transformación directa e inversa. Así mismo, el sistema cuenta con E/S de uso general, con ayuda de las cuales el robot se puede integrar en un siste-

ma de producción que cuente con varias máquinas y/o robots. Para una integración mas avanzada, algunos robots cuentan con E/S serie, que hace posible la comunicación con computadores externos. Estos últimos, debido a su gran capacidad de cálculo, pueden gobernar el robot procesando la información del entorno.

- **Dos procesadores.** En la figura 19 se ofrece un ejemplo de la arquitectura con dos procesadores. La CPU (unidad central de proceso) central tiene como misión gestionar el comportamiento global de todo el sistema; controlar "simultáneamente" todos los servos, siendo fácil el intercambio de información entre éstos. La CPU de articulaciones recibe las referencias de posición y se encarga de generar las acciones de control para cada articulación. Este hecho permite implementar algoritmos de control más complicados, por ejemplo, multivariables. Con esta estructura la frecuencia de muestreo de los servos disminuye.

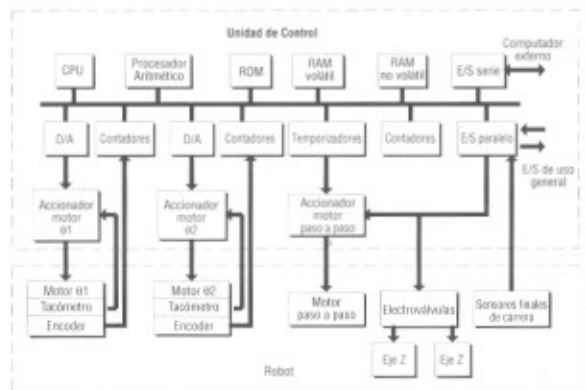


Figura 18. Estructura hardware con un procesador.

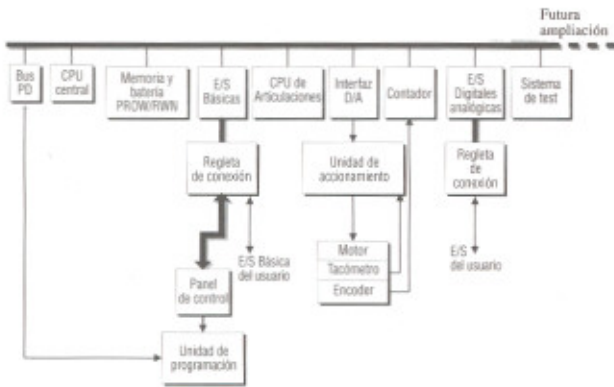


Figura 19. Estructura hardware del controlador con dos procesadores.

- Multiprocesador.** Uno de los objetivos de este trabajo es el de implementar una estructura hardware típico de multiprocesador en el robot IBM 7540 cuyo esquema general se presenta en la figura 20. Se cuenta con un procesador central y un procesador por cada articulación del robot. El computador central distribuye, entre los distintos microprocesadores, las referencias angulares. Así mismo, en él reside todo el sistema operativo del robot. Cada procesador de articulación constituye un servo de posición, lo que favorece la independencia y flexibilidad en el control de cada articulación permitiendo implementar algoritmos de control más complejos debido a la potencia de cálculo del sistema. Normalmente esta comunicación se realiza basado en bus compartido, siendo las comunicaciones entre los procesadores el cuello de botella en tiempo real.

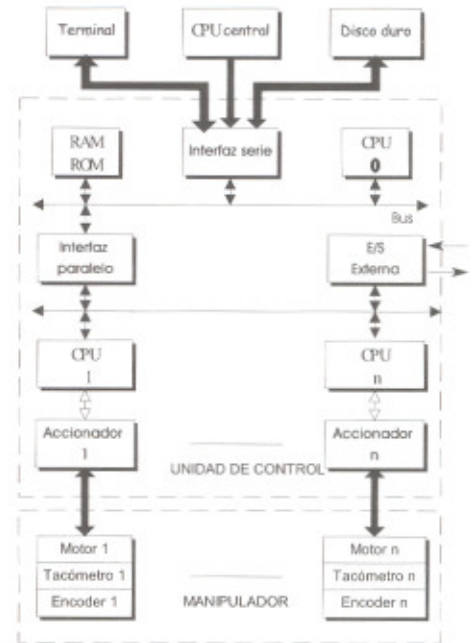


Figura 20. Estructura hardware del controlador con un procesador por articulación.

Conclusiones

La robótica es un área multidisciplinar que involucra profesionales de diferentes áreas del saber como son la mecánica la electrónica y el software, a través de los años se ha visto una gran disminución de costos en la fabricación de robots debido a la integración de sistemas y a la evolución de dispositivos microprocesados

Las diferentes configuraciones limitan el espacio de trabajo del robot.

El control de los robots no es genérico sino que depende de cada una de las configuraciones de ellos.

La robótica pasa de ser algo ajeno (mágico), a ser una área de trabajo común convirtiéndose en una opción de estudio para las futuras generaciones de estudiantes. Lo importante es tener siempre en cuenta que esta disciplina requiere sólidas bases teóricas y bastante trabajo experimental para su desarrollo. No es posible comprenderla desde uno de estos extremos, es necesario dominar tanto la teoría como la práctica.

Bibliografía

- ANGULO, José. Robótica, tecnología y aplicaciones. Barcelona, 1995, p 53.
- FU, K. Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia. México: McGrawHill, 1989.
- GROOVER, Mikell, WEISS, Mitchel, NAGEL, Roger y ODREY, Nicholas. Robótica Industrial: Tecnología, Programación y Aplicaciones. McGraw Hill, 1990. p. 600.
- KOREN, Yoran. Robotics For Engineers. New York: McGraw Hill, 1985, p. 37.
- OLIER, Ivan, HERNANDEZ, Juan. Diseño e Implementación del Sistema de Control en Un Robot Industrial. Proyecto de Grado (mención meritoria) Universidad Nacional, 1998.
- PHILLIPS, Charles, NAGLE, Troy. Digital Control System, Analysis and Design. New Jersey: Prentice Hall. 1995, p. 685.
- RICHARD, Paul. Robot Manipulator: Mathematics, Programming and Control. Cambridge: MIT Press. 1992, p.279.
- SPONG, Mark, VIDYASAGAR, M. Robot Dynamic and Control. New York: John Wiley & Sons Inc. 1992, p. 50-60, 169.