



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JOSÉ JUAN SÁENZ LARA

En la modalidad de titulación

TESIS

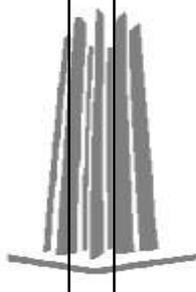
“CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS DIDÁCTICOS PARA EL  
NIVEL EDUCATIVO MEDIO BÁSICO

ASESOR

ING. JAVIER NAVA PÉREZ

MÉXICO.

2011.





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## Dedicatoria:

### A mis padres:

Por el amor y cariño que siempre me han dado  
Por brindarme la oportunidad de triunfar en la vida  
Por los innumerables sacrificios que hicieron y  
Por su infinito e incondicional apoyo.

### A mis hermanos:

Por el cariño, apoyo y comprensión que me prodigaron  
Por infundirme fortaleza en todo momento, para triunfar en la vida.

### A mis Hijos:

Por el respeto que me dan  
Por el ejemplo que me permiten darles  
Pero sobre todo porque los amo ya que  
ellos son el motor que me impulsa para  
continuar superándome y seguir siempre  
adelante.

## Agradecimientos:

A la  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Por brindarme la oportunidad de superarme académicamente  
y permitirme ser parte de su gente y de su historia.

A mis profesores  
Por sus enseñanzas, consejos y amistad  
que me brindaron.

A la  
Facultad de Estudios Superiores "Aragón"  
Por permitirme ser parte de esa institución  
tan importante para mí desempeño  
académico  
y brindarme la oportunidad de  
desarrollarme,  
colaborando en diferentes campos de la  
ingeniería  
para ser un buen profesional y brindar un  
servicio de calidad.

# ÍNDICE

	Página
Dedicatorias	2
Agradecimientos	3
Índice	4
Introducción	6
<b>Capítulo I: Elementos mecánicos</b>	<b>8</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>9</b>
1.1 Ruedas y orugas	10
1.2 Casquillo hexagonal para rueda de robot	13
1.3 Fijaciones rápidas para servos	14
1.4 Separadores hexagonales	15
1.5 Tornillos y tuercas	15
1.6 Pata de goma autoadhesiva cuadrada	16
1.7 Cinta protectora de cables	16
1.8 Soportes	16
1.9 Pletinas servo en U roscada robonova	18
1.10 Paneles de PVC 3 mm 30 X 40 cm amarillos y rojos	19
<b>Capítulo 2: TIPOS DE ROBOTS</b>	<b>20</b>
2.1 Leyes de la robótica	22
2.2 Tipos de robots	24
2.3 Impacto de la robótica	28
2.4 Robots industriales	30
2.5 Clasificación de los robots según la AFRI	33
<b>Capítulo 3: TIPOS DE CONTROLADORES</b>	<b>36</b>
3.0 Generales	37
3.1 Modelo Manipulador Entorno	38
3.2 Modelo cinemático	38
3.3 Modelo dinámico	41
3.4 Descripción del robot scara	44
3.5 Controladores didácticos	47

<b>Capítulo 4 CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS</b>	<b>55</b>
4.0 Propósito	56
4.1 Construcción de robots	56
4.2 Aplicaciones en laboratorio	60
4.2.1 Aplicaciones en física	60
4.2.2. Energías renovables	62
4.2.3 Aplicaciones diversas	64
Conclusiones	74
Bibliografía	75

## INTRODUCCION

En los últimos años a nivel internacional sobre todo en Europa la enseñanza tradicional en el nivel medio básico, se ha visto modificada por la inclusión de nuevas herramientas o técnicas de enseñanza pedagógica a las que acceden los alumnos, una de las más importantes, es el concepto de la robótica educativa como una herramienta de apoyo pedagógico. Al analizar la experiencia internacional en el tema, muchas han sido las formas de inserción de la Robótica Educativa en las prácticas docentes de los centros educativos, que dependiendo del nivel, se puede enseñar desde los conceptos más simples de la robótica, una especie de “alfabetización robótica”, hasta los usos más sofisticados de ella. Estos desarrollos no están referidos sólo a maquetas o representaciones de máquinas, como es el caso de la industria, sino que en educación es esencialmente una herramienta que potencia las representaciones de los conocimientos construidos producto de la interacción del aprendiz con los materiales, a la luz de un problema a resolver y la guía del facilitador, esencialmente en una modalidad de trabajo colaborativo.

El presente trabajo intenta difundir y describir la Robótica Educativa desde la perspectiva del uso de robots con fines educacionales es decir apoyar la asimilación del conocimiento, para aquellos estudiantes que se inician en el estudio de las Ciencias (Matemáticas, Física, Electricidad, Electrónica, Informática y afines) y la tecnología”

La finalidad es que el alumno no conceptualice las materias físico-matemáticas como algo abstracto, difícil y aburrido que se le hagan recreativas logrando con esto una mayor asimilación de los temas vistos en clase y despertar el interés y las vocaciones de los estudiantes en este tema para lograr una mejor educación el desarrollo tecnológico del país

Un robot es una máquina, en cuanto a que, desde una perspectiva de la física transforma la energía para lograr un trabajo, y en su esencia está constituido por un ordenador, una interface, actuadores y sensores en su estructura más simple. Este concepto va variando en cuanto se van complejizando sus aplicaciones en diferentes áreas del que hacer humano.

Es una herramienta que ayuda al aprendizaje de aspectos tecnológicos. Centros educativos de todo el mundo la incorporan de forma curricular o como actividad extraescolar. Alrededor de ella han surgido multitud de eventos y competiciones nacionales. Las formas de implementar este método, se caracterizan por ser activas – participativas y cooperativas.

Por lo cual el siguiente trabajo esta estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo uno se describen, los elementos mecánicos comerciales que se utilizan para el montaje de robots educativos.

En el capítulo dos se describen los tipos de robots y sus aplicaciones generales

En el capítulo tres se describen los controladores y sensores que se utilizan en los robots didácticos

En el capítulo cuatro se describe un kit comercial de armado de robots y su aplicación didáctica en la materia de laboratorio de física.

|

# **CAPITULO 1**

## **ELEMENTOS MECANICOS**

## **1.- ELEMENTOS MECANICOS**

Los elementos mecánicos que se utilizan para el armado y funcionamiento de los robots son:

### **Ruedas y Orugas**

Las ruedas son uno de los componentes más importantes de los robots, ya que son las que proporcionan la tracción necesaria al robot. Las orugas son una alternativa que permite construir robots todo terreno con capaces de moverse por donde las ruedas no pueden.

### **Casquillos**

Son de forma hexagonal que encaja con el hexágono que tienen algunas ruedas de las empleadas en coches de radio control, resultando un sistema fácil y sencillo de fijar las ruedas al eje del motor.

### **Tornillos, tuercas y separadores**

Los tornillos tuercas y separadores son elementos de sujeción para los diversos elementos físicos que conforman, estos componentes le ayudaran a realizar su propio robot y a ensamblar los diferentes componentes y circuitos.

### **Fijaciones rápidas para servos**

Estas fijaciones de plásticos son remaches que permiten montar un servo rápidamente sin utilizar tornillos y tuercas y además de su poco peso, también tienen la ventaja de no tener que acceder a la parte de atrás del tornillo para colocarlos, ya que se insertan desde adelante con solo presionar sobre ellos. Para quitarlos, basta con levantar la parte central con un destornillador y luego extraer toda la pieza.

### **Separadores metálicos**

Los separadores metálicos machos y hembras se utilizan sobre todo para fijar los circuitos a los robots, aunque también se emplean mucho en robótica para crear pequeñas estructuras y dar soportes a piezas y componentes de los robots.

### **Soportes**

Soportes y accesorios varios que le ayudaran a completar su robot. Los soportes facilitan el montaje y diseño de los robots, permitiendo montar estructuras simples fácil y rápidamente.

## 1.1 Ruedas y orugas

### Rueda de neopreno para robot

Rueda de neopreno especialmente indicada para su uso en robots y proyectos de robótica. Esta rueda se acopla directamente sobre el plato del servo y se atornilla, proporcionando una gran tracción gracias a que esta realizada con neopreno puro. Además, de tracción, esta rueda ofrece un movimiento suave y silencioso gracias al efecto de almohadilla que amortigua la irregularidades. Usar preferentemente en interior. Se venden por pares. Disponible en varios diámetros.



### Rueda estrecha de alta adherencia

Rueda de 55mm de diámetro especialmente indicada para robots hormigas. La rueda presenta gran adherencia a pesar de medir solo 20mm de ancho gracias al material especial tipo neopreno de que esta hecha, que logra un equilibrio perfecto entre dureza y tracción permitiendo transmitir la fuerza del motor a las ruedas con gran eficacia.



#### **Par de ruedas de goma de 90 mm 4 x 4**

Este par de ruedas de 90 mm proporcionan la locomoción idónea para robots que se aventuran en el exterior. La rueda está formada por una llanta de PVC y una cubierta de caucho rellena de goma espuma que le proporciona una gran tracción en terrenos accidentados.



#### **Mega rueda robot todo terreno 130 mm**

Este par de mega ruedas de 130 mm proporcionan la locomoción idónea para robots que se aventuran en el exterior. La rueda esta formada por una llanta de PVC y una cubierta de caucho ideal para todo terreno gracias a sus grandes estrías, que están rellenas de goma espuma. La rueda proporciona una gran tracción en terrenos accidentados.



### **Rueda de 100 mm con casquillo de aluminio integrado**

Rueda de goma de 100mm que incluye un casquillo de aluminio para ejes de motor de 5mm La rueda es de plástico y tiene una banda rodante de goma para un funcionamiento suave y silencioso. Esta rueda esta especialmente indicada para su utilización con el motor EMG30, ya que incluye un casquillo de aluminio de 5 mm de diámetro que encaja perfectamente en el eje de este motor.



### **Sistema de orugas ampliable para robot**

Juego de orugas de plástico de alta calidad que permite crear orugas de tracción de cualquier longitud, ya que se pueden añadir o quitar los eslabones que se quieran. Cada eslabón esta formado por una pieza de plástico rígido y su correspondiente eje de acero que los engarza de forma sólida y precisa. De esta forma se consigue una oruga de 23 mm de ancho y de una distancia entre ejes de unos 84 mm. Con las 40 piezas que se incluyen se consiguen dos orugas de 23 x 130 mm. Cada eslabón tiene una distancia entre ejes de 14mm, por lo que la oruga se puede ampliar o disminuir en múltiplos de 14mm. Existen además kits de expansión de 20 piezas adicionales, que permiten ampliar las orugas hasta el tamaño deseado.



### **Juego de 2 ruedas de oruga servo futaba**

Juego de 2 ruedas para oruga. Las ruedas tienen un cabezal estriado que se fija directamente en los servos de tipo Hitec.



### **Sistema de cadenas de 5cm para robot**

Juego de orugas de gran tracción de 5 cm. de ancho totalmente modular para crear vehículos de cadenas. Este sistema de orugas único le permite crear por fin robots con orugas de gran calidad y totalmente modular que se adapta a su proyecto y no al revés. Las orugas están formadas por una base muy resistente de polipropileno recubierto de tacos de goma de dureza 45 que le confieren un gran agarre en todo tipo de superficies, incluso en aquellas pulidas y resbaladizas. . En total se incluyen 21 eslabones que permiten hacer una oruga de 58 cm. de longitud aproximadamente. Se pueden unir tantos eslabones como se desee para conseguir el tamaño de oruga que mejor se adapte a sus necesidades. Las orugas vienen desmontadas y se ensamblan en pocos minutos sin necesidad de herramientas.



## 1.2 Casquillo hexagonal para rueda de robot

Esta pareja de casquillos tiene una forma hexagonal que encaja con el hexágono que tienen algunas ruedas de las empleadas en coches de radio control, resultando un sistema fácil y sencillo de fijar las ruedas al eje del motor. Los casquillos son de aluminio y cuentan con un orificio de 6mm que se fija sobre cualquiera de los motores de corriente continua con eje de 6 mm de nuestro catálogo. Por el lado de la rueda, cuenta con un hexágono de 12 mm y un tornillo que fija la rueda en su sitio. Para quitar y poner las ruedas, basta con aflojar el tornillo del extremo, por lo que resulta muy sencillo. Con algunos modelos de rueda, puede ser necesario utilizar una arandela (no incluida) para que el tornillo presione sobre la rueda.



## 1.3 Fijaciones rápidas para servos

Remaches de nylon fijación servo, Juego de 25 fijaciones de plástico para servo que permiten montar un servo rápidamente sin utilizar tornillos y tuercas. Los remaches son de nylon negro y además de su poco peso, también tienen la ventaja de no tener que acceder a la parte de atrás del tornillo para colocarlos, ya que se insertan desde adelante con solo presionar sobre ellos. Para quitarlos, basta con levantar la parte central con un destornillador y luego extraer toda la pieza.



#### 1.4 Separadores hexagonales M3 10 MM 25 U de M3 25 MM 25 U de M3 40 MM 25 U

Los separadores metálicos hexagonales de rosca métrica machos y hembras se venden en bolsas de 25 unidades. Estos separadores se utilizan sobre todo para fijar los circuitos a los robots, aunque también se emplean mucho en robótica para crear pequeñas estructuras y dar soportes a piezas y componentes de los robots.



#### 1.5 Tornillos y tuercas

**Los tornillos negro métricos cuyas medidas mas comunes son; M3 X 4 mm, M3 X 10 MM, M3 X 18 MM**

Tornillo negro metálico rosca métrica M3 de 4 mm. Los tornillos se venden en bolsas de 25 unidades. Estos tornillos se emplean sobre todo para fijar los circuitos a los robots mediante separadores, aunque también se emplean mucho en robótica para crear pequeñas estructuras y soportar piezas y componentes en los robots



**Tornillos negros especificación DIN Autorosca de cabeza avellana de medidas 2,2 X 6,5 25 U**

Tornillo negro metálico autorosca de 2,2 x 6,5, 2,2 X 13 25 U y de 9,5 mm. Los tornillos se venden en bolsas de 25 unidades. Estos tornillos se emplean sobre todo para fijar toda clase de elementos sobre madera, plástico o metal. Su cabezal avellanado resulta muy útil para empotrarlo en la madera o el plástico, resultando una unión resistente y lisa que proporciona un gran acabado



### **Tuerca negra M3**

Tuerca negra metálica para tornillos con rosca métrica M3 de 5 mm. Las tuercas se venden en bolsas de 25 unidades. Estas tuercas se emplean junto con los tornillos sobre todo para crear pequeñas estructuras y fijar piezas y componentes en los robots



### **1.6 PATA DE GOMA AUTOADHESIVA CUADRADA 10 X 10 MM 25 U**

Protector de neopreno cuadrado de 10 mm que puede utilizarse como anti deslizante, como protector o como amortiguador en cualquier robot. Se venden en bolsas de 25 unidades. Los tacos son adhesivos y pueden pegarse fácilmente sobre cualquier superficie. También pueden cortarse para adaptarlos a espacios más pequeños. Resultan muy útiles como patas de goma que evitan los arañazos y proporcionan un gran agarre ya que son de neopreno puro



### **1.7 Cinta protectora de cables de 3MM**

Cinta espiral de plástico transparente que sirve para atar y proteger mazos de cable proporciona un aspecto de orden y limpieza al cableado. Se pueden sacar tomas y derivaciones en cualquier momento La cinta tiene un diámetro nominal de 3mm, siendo válida para grupos de cables de hasta 12 mm. Se vende en rollos de 5 metros

### **1.8 Soportes**

Soportes y accesorios varios que le ayudaran a completar su robot. Los soportes facilitan el montaje y diseño de los robots, permitiendo montar estructuras simples fácil y rápidamente.

#### **Soporte para mini sensor de distancias**

Soporte de aluminio especialmente desarrollado para utilizarse con el mini sensor de distancias por ultrasonidos srf10. El sensor permite montar el sensor sobre el plato de un servo con la idea de que se pueda mover hacia un lado u otro a modo de radar. El soporte incluye dos arandelas de goma que permiten sostener el sensor por presión sobre los traductores ultrasónicos sin necesidad de emplear tornillos.



### **Soporte para motores de corriente continua**

Pareja de soporte de aluminio negro especialmente diseñados para la sujeción de los motores de corriente continua de 6 y 12 voltios de nuestro catálogo. Los soportes son universales y permiten colocar el motor en cualquier posición tanto en configuración inferior, como en configuración superior. Con la ayuda de estos soportes y los motores correspondientes, puede fabricar su propio robot tan fácilmente como nunca antes fue posible. Incluye 2 piezas.



### **Soporte de aluminio para servo**

Par de soportes de aluminio negro que permiten montar los servos horizontalmente para utilizarlos como ruedas propulsoras en robots. Los soportes forman una escuadra y tiene los taladros necesarios para fijar un servo de tamaño estándar y atornillarlos en cualquier superficie, tanto por encima, como por debajo de la superficie horizontal del motor. Con la ayuda de estos soporte puede utilizar cualquier material para la construcción de robots, desde madera a plástico, metales o incluso puede atornillar los servos directamente en la placa de circuito impreso, haciendo este de chasis del robot. Incluye 2 piezas.

### **Soporte eje posterior para servo (eje ficticio para servo motor)**

Juego de 2 piezas de plástico que se pegan en la parte posterior de los servomotores creando una prolongación del eje de rotación del servo. Esta pieza son especialmente útiles cuando se quiere usar servomotores para girar piezas, ya que crean un eje opuesto pero en línea con el eje del servo, como si fuera un prolongación del mismo y permitiendo aprovechar mecánicamente la fuerza de rotación del servo. La pieza incluye un potente adhesivo que permite fijarlo fácilmente en el servo. Incluye 2 piezas.

### **Soporte eje posterior para servo miniatura**

Juego de 2 piezas de plástico que se pegan en la parte posterior de los mini servomotores creando una prolongación del eje de rotación del servo. Esta pieza son especialmente útiles cuando se quiere usar mini servomotores para girar piezas, ya que crean un eje opuesto pero en línea con el eje de giro del mini servo, como si fuera un prolongación del mismo y permitiendo aprovechar mecánicamente la fuerza de rotación del servo. La pieza incluye un potente adhesivo que permite fijarlo fácilmente en el servo. Incluye 2 piezas. Esta pieza solo es valida para los servos de tamaño miniatura

### 1.9 Pletinas servo en U roscada robonova

Esta placa en forma de U es la misma que se utiliza en la construcción del esqueleto del robot Robonova1 y para sujetar el chasis a la altura del hombro por la parte interior. Los taladros frontales incluyen una rosca para facilitar el montaje de las otras piezas. La pieza encaja en los platos de giro de los servos permitiendo realizar estructuras de forma similar a las piernas del robot Robonova 1. Número de parte 138009



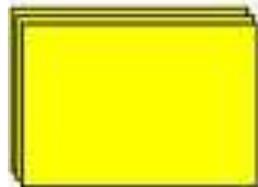
### Pletina unión universal

Pletina de sujeción del robot Robonova 1. Esta pletina se utiliza para unir servos entre sí y formar estructuras como la de los brazos del Robonova.



### 1.10 Paneles de PVC 3 mm 30 X 40 cm amarillos y rojos

Paneles de PVC de color amarillo que por sus propiedades físicas y mecánicas resultan idóneos para construir piezas y partes de robots. El PVC incorpora el color en el propio material, por lo que no es necesario pintar ni recubrir nada. El pvc es un material que se puede cortar y taladrar fácilmente, a la vez que resulta fuerte y resistente. Medidas de cada panel 300 x 400 x 3 mm. Aprox. El kit incluye 2 paneles.



### Paneles de policarbonato 3 mm 30 X 40 cm

Paneles de policarbonato transparente que por sus propiedades físicas y mecánicas resultan idóneos para construir piezas y partes de robots. El policarbonato es prácticamente irrompible pudiendo mecanizarse, con facilidad para obtener las piezas deseadas. El policarbonato es un material que se puede cortar y taladrar fácilmente, a la vez que resulta muy fuerte y resistente. Medidas de cada panel 300 x 400 x 3 mm. Aprox. El kit incluye 2 paneles.

**CAPITULO II**  
**TIPOS DE ROBOTS**

## II.0 GENERALES

El término "Robótica" fue acuñado por Isaac Asimov para describir la tecnología de los robots. Él mismo predijo hace años el aumento de una poderosa industria robótica, predicción que ya se ha hecho realidad. Recientemente se ha producido una explosión en el desarrollo y uso industrial de los robots tal que se ha llegado al punto de hablar de "revolución de los robots" y "era de los robots".

El término robótica puede ser definido desde diversos puntos de vista:

Con independencia respecto a la definición de "robot": "La Robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción" definido por Michael Brady and Richard Paul, editors. Robotics Research: The First International Symposium. The MIT Press, Cambridge MA, 1984.

En base a su objetivo: "La Robótica consiste en el diseño de sistemas. Actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad--todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot" según Joseph L. Jones and Anita M. Flynn. Mobile robots: Inspirations to implementation. A K Peters Ltd, 1993]

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890 - 1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot (R.U.R.). Su origen es de la palabra eslava **robot**, que se refiere al trabajo realizado de manera forzada. La trama era sencilla: el hombre fabrica un robot, luego el robot mata al hombre.

La mayoría de los expertos en Robótica afirmarían que es complicado dar una definición universalmente aceptada. Las definiciones son tan dispares como se demuestra en la siguiente relación:

- Ingenio mecánico controlado electrónicamente, capaz de moverse y ejecutar de forma automática acciones diversas, siguiendo un programa establecido.
- Máquina que en apariencia o comportamiento imita a las personas o a sus acciones como, por ejemplo, en el movimiento de sus extremidades
- Un robot es una máquina que hace algo automáticamente en respuesta a su entorno.
- Un robot es un puñado de motores controlados por un programa de ordenador.
- Un robot es un ordenador con músculos.

Es cierto, como acabamos de observar, que los robots son difíciles de definir. Sin embargo, no es necesariamente un problema el que no esté todo el mundo de acuerdo sobre su definición. Quizás, Joseph Engelberg (padre de la robótica industrial) lo resumió inmejorablemente cuando dijo: "Puede que no se capaz de definirlo, pero sé cuándo veo uno".

## 2.1 Leyes de la robótica

En las historias de robots de Isaac Asimov, éste prevé un mundo futuro en el que existen reglas de seguridad para que los robots no puedan ser dañinos para los seres humanos. Por tal razón Asimov propuso las siguientes tres **leyes de la robótica**:

1ª.- Un robot no puede dañar a un ser humano o, a través de la inacción, permitir que se dañe a un ser humano.

2ª.- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando tales órdenes estén en contra de la primera ley.

3ª.- Un robot debe proteger su propia existencia siempre y cuando esta protección no entre en conflicto con la primera y segunda ley.

Sin llegar a la ciencia-ficción, por ahora nos gustaría que los robots tuvieran las siguientes características:

- Autónomos, que pudiesen desarrollar su tarea de forma independiente.
- Fiables, que siempre realizasen su tarea de la forma esperada.
- Versátiles, que pudiesen ser utilizados para varias tareas sin necesidad de modificaciones en su control.

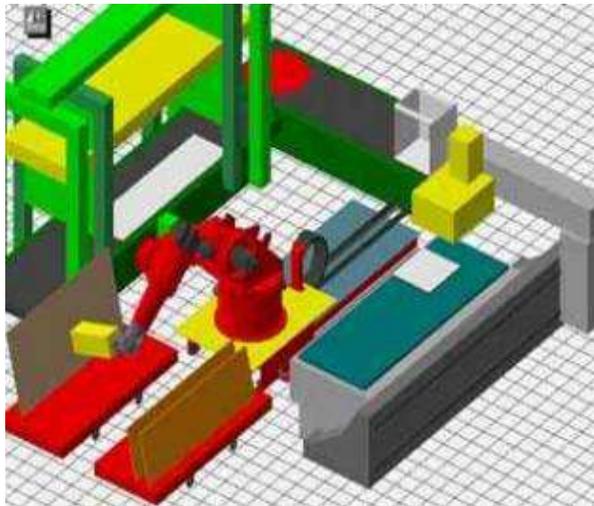
La imagen del robot como una máquina a semejanza del ser humano, subyace en el hombre desde hace muchos siglos, existiendo diversas realizaciones con este fin.

El ciudadano industrializado que vive a caballo entre el siglo XX y el XXI se ha visto en la necesidad de emprender, en escasos 25 años, el significado de un buen número de nuevos términos marcados por su alto contenido tecnológico. De ellos sin duda el más relevante haya sido el ordenador (computador).

Éste, está introducido hoy en día en su versión personal en multitud de hogares, y el ciudadano medio va conociendo en creciente proporción, además de su existencia, su modo de uso y buena parte de sus posibilidades. Pero dejando de lado esta verdadera revolución social, existen otros conceptos procedentes del desarrollo tecnológico que han superado las barreras impuestas por las industrias y centros de investigación, incorporándose en cierta medida al lenguaje coloquial. Es llamativo como entre éstas destaca el concepto **robot**.

Pero el robot industrial, que se conoce y emplea en nuestros días, no surge como consecuencia de la tendencia o afición de reproducir seres vivientes, sino de la necesidad. Fue la necesidad la que dio origen a la agricultura, el pastoreo, la caza, la pesca, etc. Más adelante, la necesidad provoca la primera revolución industrial con el descubrimiento de la máquina de vapor de Watt y, actualmente, la necesidad ha cubierto de ordenadores la faz de la tierra.

Inmersos en la era de la informatización, la imperiosa necesidad de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, ha hecho insuficiente la automatización industrial rígida, dominante en las primeras décadas del siglo XX, que estaba destinada a la fabricación de grandes series de una restringida gama de productos. Hoy día, más de la mitad de los productos que se fabrican corresponden a lotes de pocas unidades.



Al enfocarse la producción industrial moderna hacia la automatización global y flexible, han quedado en desuso las herramientas, que hasta hace poco eran habituales:

- Forja, prensa y fundición
- Esmaltado
- Corte
- Encolado
- Desbardado
- Pulido.

Finalmente, el resto de los robots instalados en 1979 se dedicaban al montaje y labores de inspección. En dicho año, la industria del automóvil ocupaba el 58% del parque mundial, siguiendo en importancia las empresas constructoras de maquinaria eléctrica y electrónica. En 1997 el parque mundial de robots alcanzó la cifra de aproximadamente 830.000 unidades, de los cuales la mitad se localizaba en Japón.

## **2.2 TIPOS DE ROBOT**

Desde un punto de vista muy general los robots pueden ser de los siguientes tipos:

- a) **Androides**
- b) **Móviles**
- c) **Industriales**
- d) **Médicos**
- e) **Teleoperadores**
- f) **Poli articulados**
- g) **Zoomórficos**
- h) **Híbridos**

### **Androides**

Una visión ampliamente compartida es que todos los robots son "androides". Los androides son artilugios que se parecen y actúan como seres humanos. Los robots de hoy en día vienen en todas las formas y tamaños, pero a excepción de los robots que aparecen en las ferias y espectáculos, no se parecen a las personas y por tanto no son androides. Actualmente, los androides reales sólo existen en la imaginación y en las películas de ficción

. Estos intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente los androides son todavía dispositivos

muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación.

Uno de los aspectos más complejos de estos robots, y sobre el que se centra la mayoría de los trabajos, es el de la locomoción bípeda.

En este caso, el principal problema es controlar dinámicamente y coordinadamente en el tiempo real el proceso y mantener simultáneamente el equilibrio del robot.

### **Móviles**

Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y de las investigaciones o rescates submarinos.

Cuentan con gran capacidad de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores.

Las tortugas motorizadas diseñadas en los años cincuenta, fueron las precursoras y sirvieron de base a los estudios sobre inteligencia artificial desarrollados entre 1965 y 1973 en la Universidad de Stanford.

Estos robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación. Guiados mediante pistas materializadas a través de la radiación electromagnética de circuitos empotrados en el suelo, o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a sortear obstáculos y están dotados de un nivel relativamente elevado de inteligencia.

### **Industriales**

Los robots industriales son artulugios mecánicos y electrónicos destinados a realizar de **forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación.**

También reciben el nombre de robots algunos electrodomésticos capaces de realizar varias operaciones distintas de forma simultánea o consecutiva, sin necesidad de intervención humana, como los también llamados «procesadores», que trocean los alimentos y los someten a las oportunas operaciones de cocción hasta elaborar un plato completo a partir de la simple introducción de los productos básicos.

Los robots industriales, en la actualidad, son con mucho los más frecuentemente encontrados. Japón y Estados Unidos lideran la fabricación y consumo de robots industriales siendo Japón el número uno. Es curioso ver cómo estos dos países han definido al robot industrial:

- La Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA): Los robots son "dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas".
- El Instituto de Robótica de América (RIA): Un robot industrial es "un manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados variables con el fin de realizar tareas diversas".

La definición japonesa es muy amplia, mientras que la definición americana es más concreta. Por ejemplo, un robot manipulador que requiere un operador "mecánicamente enlazado" a él se considera como un robot en Japón, pero no encajaría en la definición americana. Asimismo, una máquina automática que no es programable entraría en la definición japonesa y no en la americana. Una ventaja de la amplia definición japonesa es que a muchos de los dispositivos automáticos cotidianos se les llama "robots" en Japón. Como resultado, los japoneses han aceptado al robot en su cultura mucho más fácilmente que los países occidentales, puesto que la definición americana es la que es internacionalmente aceptada.

### **Médicos**

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen.

### **Teleoperadores**

Hay muchos "parientes de los robots" que no encajan exactamente en la definición precisa. Un ejemplo son los teleoperadores. Dependiendo de cómo se defina un robot, los teleoperadores pueden o no clasificarse como robots. Los teleoperadores se controlan remotamente por un operador humano. Cuando pueden ser considerados robots se les llama "telerobots". Cualquiera que sea su clase, los teleoperadores son generalmente muy sofisticados y extremadamente útiles en entornos peligrosos tales como residuos químicos y desactivación de bombas.

Se puede concretar más, atendiendo a la **arquitectura de los robots**. La arquitectura, definida por el tipo de configuración general del robot, puede ser metamórfica. El concepto de metamorfismo, de reciente aparición, se ha introducido para incrementar la flexibilidad funcional de un robot a través del cambio de su configuración por el propio robot. El metamorfismo admite diversos niveles, desde los más elementales -cambio de herramienta o de efector terminal-, hasta los más complejos como el cambio o alteración de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales.

Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo la denominación genérica del robot, tal como se ha indicado, son muy diversos y es por tanto difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso. La subdivisión de los robots, con base en su arquitectura, se hace en los siguientes grupos: Poliarticulados, Móviles, Androides, Zoomórficos e Híbridos.

### **Poliarticulados**

Bajo este grupo están los robots de muy diversa forma y configuración cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios -aunque excepcionalmente pueden ser guiados para efectuar desplazamientos limitados- y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo según uno o más sistemas de coordenadas y con un número limitado de grados de libertad. En este grupo se encuentran los manipuladores y algunos robots industriales, y se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada, actuar sobre objetos con un plano de simetría vertical o reducir el espacio ocupado en la base.

### **Zoomórficos**

Los robots zoomórficos, que considerados en sentido no restrictivo podrían incluir también a los androides, constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos.

A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores. El grupo de los robots zoomórficos no caminadores está muy poco evolucionado. Cabe destacar, entre otros, los experimentados efectuados en Japón basados en segmentos cilíndricos biselados acoplados axialmente entre sí y dotados de un movimiento relativo de rotación. En cambio, los robots zoomórficos caminadores múltipedos son muy numerosos y están siendo experimentados en diversos laboratorios con vistas al desarrollo posterior de verdaderos vehículos terrenos, pilotados o autónomos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas. Las aplicaciones de estos robots serán interesantes en el campo de la exploración espacial y en el estudio de los volcanes.

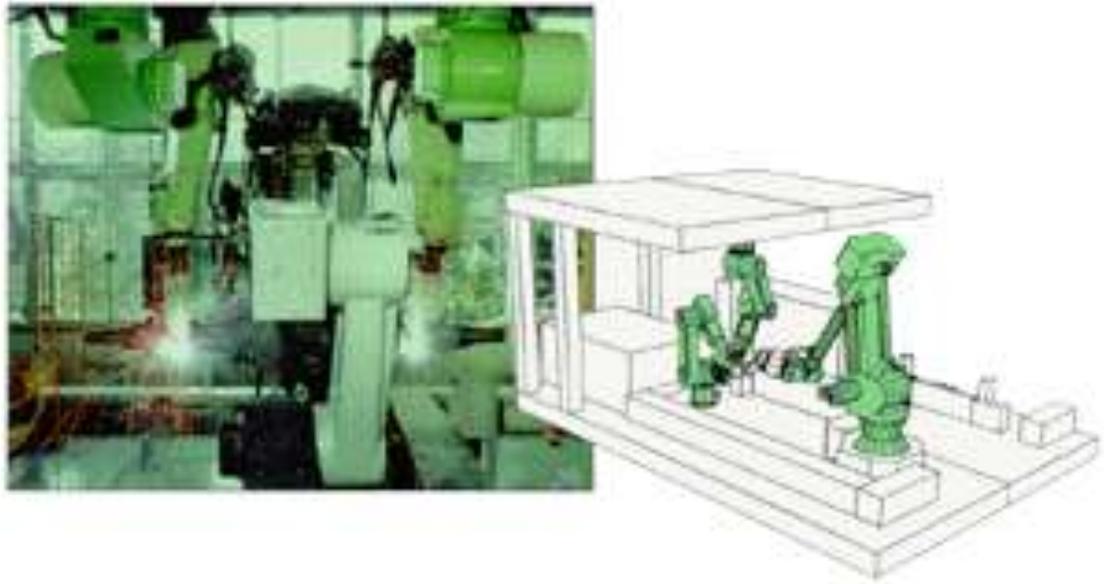
### **Híbridos**

Estos robots corresponden a aquellos de difícil clasificación cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado, articulado y con ruedas, tiene al mismo tiempo uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos. De igual forma pueden considerarse híbridos algunos robots formados por la yuxtaposición de un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales. En parecida situación se encuentran algunos robots

antropomorfos y que no pueden clasificarse ni como móviles ni como andróides, tal es el caso de los robots personales.

### 2.3 Impacto de la robótica

La Robótica es una nueva tecnología, que surgió como tal, hacia 1960. Han transcurrido pocos años y el interés que ha despertado, desborda cualquier previsión. Quizás, al nacer la Robótica en la era de la información, una propaganda desmedida ha propiciado una imagen irreal a nivel popular.



Al igual que sucede con el microprocesador, la mitificación de esta nueva máquina, que de todas formas, nunca dejara de ser eso, una máquina.

#### Impacto en la Educación

El auge de la Robótica y la imperiosa necesidad de su implantación en numerosas instalaciones industriales, requiere el concurso de un buen número de especialistas en la materia. La Robótica es una tecnología multidisciplinar. Hace uso de todos los recursos de vanguardia de otras ciencias afines, que soportan una parcela de su estructura.

Destacan las siguientes:

- Mecánica
- Cinemática
- Dinámica
- Matemáticas
- Automática
- Electrónica
- Informática
- Energía y actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos
- Visión artificial
- Sonido de máquinas
- Inteligencia artificial.

Realmente la Robótica es una combinación de todas las disciplinas expuestas, más el conocimiento de la aplicación a la que se enfoca, por lo que su estudio se hace especialmente indicado en las carreras de Ingeniería Superior y Técnica y en los centros de formación profesional, como asignatura práctica. También es muy recomendable su estudio en las facultades de informática en las vertientes dedicadas al procesamiento de imágenes, inteligencia artificial, lenguajes de robótica, programación de tareas, etc.

Finalmente, la Robótica brinda a investigadores y doctorados un vasto y variado campo de trabajo, lleno de objetivos y en estado inicial de desarrollo.

La abundante oferta de robots educativos en el mercado y sus precios competitivos, permiten a los centros de enseñanza complementar un estudio teórico de la Robótica, con las prácticas y ejercicios de experimentación e investigación adecuados.

Una formación en robótica localizada exclusivamente en el control no es la más útil para la mayoría de los estudiantes, que de trabajar con robots lo harán como usuarios y no como fabricantes. Sin embargo, no hay que perder de vista que se está formando a ingenieros, y que hay que proveerles de los medios adecuados para abordar, de la manera más adecuada, los problemas que puedan surgir en el desarrollo de su profesión.

### **Impacto en la automatización industrial**

El concepto que existía sobre automatización industrial se ha modificado profundamente con la incorporación al mundo del trabajo del robot, que introduce el nuevo vocablo de "sistema de fabricación flexible", cuya principal característica consiste en la facilidad de adaptación de este núcleo de trabajo, a tareas diferentes de producción.

Las células flexibles de producción se ajustan a necesidades del mercado y están constituidas, básicamente, por grupos de robots, controlados por ordenador. Las células flexibles disminuyen el tiempo del ciclo de trabajo en el taller de un producto y liberan a las personas de trabajos desagradables y monótonos. La interrelación de las diferentes células flexibles a través de potentes computadores, dará lugar a la factoría totalmente automatizada, de las que ya existen algunas experiencias.

La adopción de la automatización parcial y global de la fabricación, por parte de las poderosas compañías multinacionales, obliga a todas las demás a seguir sus pasos para mantener su supervivencia. Cuando el grado de utilización de maquinaria sofisticada es pequeño, la inversión no queda justificada. Para poder compaginar la reducción del número de horas de trabajo de los operarios y sus deseos para que estén emplazadas en el horario normal diurno, con el empleo intensivo de los modernos sistemas de producción, es preciso utilizar nuevas técnicas de fabricación flexible integral.

### **Impacto sociolaboral**

El mantenimiento de las empresas y el consiguiente aumento en su productividad, aglutinan el interés de empresarios y trabajadores en aceptar, por una parte la inversión económica y por otra la reducción de puestos de trabajo, para incorporar las nuevas tecnologías basadas en robots y computadores.

Las ventajas de los modernos elementos productivos, como la liberación del hombre de trabajos peligrosos, desagradables o monótonos y el aumento de la productividad, calidad y competitividad, a menudo, queda eclipsado por el aspecto negativo que supone el desplazamiento de mano de obra, sobre todo en tiempos de crisis. Este temor resulta infundado si se analiza con detalle el verdadero efecto de la robotización.

En el caso de España en 1998 existían aproximadamente 5000 robots instalados, lo que supone la sustitución de 10000 puestos de trabajo. El desempleo generado quedará completamente compensado por los nuevos puestos de trabajo que surgirán en el sector de la enseñanza, los servicios, la instalación, mantenimiento y fabricación de robots, pero especialmente por todos aquellos que se mantendrán, como consecuencia de la revitalización y salvación de las empresas que implanten los robots.

### **2.4 Robots industriales**



### **Definición del Robot Industrial**

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control. En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una

definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), según la cual:

Un **robot industrial** es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como:

Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

**Manipulador:** mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

**Robot:** manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectoria variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Por último, la Federación Internacional de Robótica (IFR) distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento.

En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y la multifunción se consiguen sin modificaciones físicas del robot.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.

## **Clasificación del robot industrial**

La maquinaria para la automatización rígida dio paso al robot con el desarrollo de controladores rápidos, basados en el microprocesador, así como un empleo de servos en bucle cerrado, que permiten establecer con exactitud la posición real de los elementos del robot y establecer el error con la posición deseada. Esta evolución ha dado origen a una serie de tipos de robots, que se citan a continuación:

### **Manipuladores**

Son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos, de los siguientes modos:

- Manual: Cuando el operario controla directamente la tarea del manipulador.
- De secuencia fija: cuando se repite, de forma invariable, el proceso de trabajo preparado previamente.
- De secuencia variable: Se pueden alterar algunas características de los ciclos de trabajo.

Existen muchas operaciones básicas que pueden ser realizadas óptimamente mediante manipuladores, por lo que se debe considerar seriamente el empleo de estos dispositivos, cuando las funciones de trabajo sean sencillas y repetitivas.

### **Robots de repetición o aprendizaje**

Son manipuladores que se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar. En este tipo de robots, el operario en la fase de enseñanza, se vale de una pistola de programación con diversos pulsadores o teclas, o bien, de joysticks, o bien utiliza un maniquí, o a veces, desplaza directamente la mano del robot. Los robots de aprendizaje son los más conocidos, hoy día, en los ambientes industriales y el tipo de programación que incorporan, recibe el nombre de "gestual".

### **Robots con control por computador**

Son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales, controlados por un computador, que habitualmente suele ser un microordenador. En este tipo de robots, el programador no necesita mover realmente el elemento de la máquina, cuando la prepara para realizar un trabajo. El control por computador dispone de un lenguaje específico, compuesto por varias instrucciones adaptadas al robot, con las que se puede confeccionar un programa de aplicación utilizando solo el terminal del computador, no el brazo. A esta programación se le denomina textual y se crea sin la intervención del manipulador.

Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de robots, hacen que se vayan imponiendo en el mercado rápidamente, lo que exige la preparación urgente de personal cualificado, capaz de desarrollar programas similares a los de tipo informático.

### **Robots inteligentes**

Son similares a los del grupo anterior, pero, además, son capaces de relacionarse con el mundo que les rodea a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real (auto programable).

De momento, son muy poco conocidos en el mercado y se encuentran en fase experimental, en la que se esfuerzan los grupos investigadores por potenciarles y hacerles más efectivos, al mismo tiempo que más asequibles. La visión artificial, el sonido de maquina y la inteligencia artificial, son las ciencias que más están estudiando para su aplicación en los robots inteligentes.

### **Micro-robots**

Con fines educacionales, de entretenimiento o investigación, existen numerosos robots de formación o micro-robots a un precio muy asequible y, cuya estructura y funcionamiento son similares a los de aplicación industrial.

Por último y con el fin de dar una visión del posible futuro, se presentan en forma clasificada, buena parte de los diversos tipos de robots que se puedan encontrar hoy en día. Todos los robots presentados existen en la actualidad, aunque los casos más futuristas están en estado de desarrollo en los centros de investigación de robótica.

## **2.5 Clasificación de los robots según la AFRI**

**Tipo A** Manipulador con control manual o telemando.

**Tipo B** Manipulador automático con ciclos pre ajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.

Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno

**Tipo C** Robot capaz de adquirir datos de su entorno,  
**D** readaptando su tarea en función de estos.

(AFRI) Asociación Francesa de Robótica Industrial.

La IFR distingue entre cuatro tipos de robots:

1. Robot secuencial.
2. Robot de trayectoria controlable.
3. Robot adaptativo.
4. Robot tele manipulado.

## **Robots de repetición o aprendizaje**

Son manipuladores que se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar. En este tipo de robots, el operario en la fase de enseñanza, se vale de una pistola de programación con diversos pulsadores o teclas, o bien, de joysticks, o bien utiliza un maniquí, o a veces, desplaza directamente la mano del robot. Los robots de aprendizaje son los más conocidos, hoy día, en los ambientes industriales y el tipo de programación que incorporan, recibe el nombre de "gestual".

## **Robots con control por computador**

Son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales, controlados por un computador, que habitualmente suele ser un microordenador. En este tipo de robots, el programador no necesita mover realmente el elemento de la máquina, cuando la prepara para realizar un trabajo. El control por computador dispone de un lenguaje específico, compuesto por varias instrucciones adaptadas al robot, con las que se puede confeccionar un programa de aplicación utilizando solo el terminal del computador, no el brazo. A esta programación se le denomina textual y se crea sin la intervención del manipulador. Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de robots, hacen que se vayan imponiendo en el mercado rápidamente, lo que exige la preparación urgente de personal cualificado, capaz de desarrollar programas similares a los de tipo informático.

## **Robots inteligentes**

Son similares a los del grupo anterior, pero, además, son capaces de relacionarse con el mundo que les rodea a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real (auto programable).

De momento, son muy poco conocidos en el mercado y se encuentran en fase experimental, en la que se esfuerzan los grupos investigadores por potenciarles y hacerles más efectivos, al mismo tiempo que más asequibles. La visión artificial, el sonido de máquina y la inteligencia artificial, son las ciencias que más están estudiando para su aplicación en los robots inteligentes.

## **Micro-robots**

Con fines educacionales, de entretenimiento o investigación, existen numerosos robots de formación o micro-robots a un precio muy asequible y, cuya estructura y funcionamiento son similares a los de aplicación industrial.

Por último y con el fin de dar una visión del posible futuro, se presentan en forma clasificada, buena parte de los diversos tipos de robots que se puedan encontrar

hoy en día. Todos los robots presentados existen en la actualidad, aunque los casos más futuristas están en estado de desarrollo en los centros de investigación de robótica.

Por último y con el fin de dar una visión del posible futuro, se presentan en forma clasificada, buena parte de los diversos tipos de robots que se puedan encontrar hoy en día. Todos los robots presentados existen en la actualidad, aunque los casos más futuristas están en estado de desarrollo en los centros de investigación de robótica.

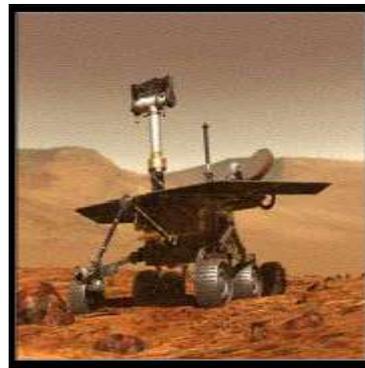
(AFRI) Asociación Francesa de Robótica Industrial.

La IFR distingue entre cuatro tipos de robots:

1. Robot secuencial.
2. Robot de trayectoria controlable.
3. Robot adaptativo.
4. Robot tele manipulado.



Robot de trayectoria controlable



Robot tele manipulado



Robot secuencial



Robot adaptativo

# **CAPITULO 3**

## **TIPOS DE CONTROLADORES**

### 3.0 GENERALES

En las dos últimas décadas el problema de modelar y controlar robots manipuladores ha recibido una gran atención [Whitney 77, Mason 81, Hogan 85, Whitney 87, Mc Clamrock 88, Luca 94]. Un robot manipulador es un sistema bastante complejo que se constituye de elementos cuyo comportamiento es altamente no lineal. Desde el punto de vista de control, las aplicaciones de los manipuladores industriales pueden ser clasificadas de dos formas: aquellas tareas en las que el manipulador debe realizar movimientos a posiciones específicas y aquellas tareas donde además del control de posición es necesario el control de fuerza debido a la interacción del manipulador con su entorno. Estos dos tipos de tareas distinguen el control de posición y el control híbrido de fuerza y posición respectivamente.

El control de posición considera la planificación de tareas, generación de trayectorias, la medición a través de sensores y la realimentación de posición. Por otra parte el control de fuerza requiere de elementos adicionales como los modelos de entornos (medios), sensores de fuerza y la realimentación de fuerza y posición [Vukobratovic 94, Vukobratovic 95]. Ha sido realizada una investigación muy amplia sobre el control de manipuladores principalmente cuando estos interactúan con diferentes entornos. Existen diferentes tareas que envuelven un movimiento restringido para el manipulador como pulimento, corte y algunas tareas de ensamblaje. Diferentes algoritmos de fuerza han sido propuestos por diferentes autores. Whitney [Whitney 87] presenta un resumen de las primeras investigaciones realizadas. Algunas contribuciones importantes son el control explícito de fuerza [Whitney 77], el control híbrido [Mason 81, Raibert 81], el control de impedancia [Hogan 85], el control de rigidez [Salisbury 80] y el control paralelo propuesto por [Chiavernini 93]. Debido a la dificultad presentada por la interacción de los manipuladores con su entorno y a las tareas de alta precisión que deben realizar, son necesarias estrategias de control avanzadas. Una estrategia que permite cubrir estas dificultades es el control de dos grados de libertad (2DOF) (De Two Degree Of Freedom) [Wolovich 95].

Los controladores de dos grados de libertad (2DOF), son considerados como un método avanzado de control por sus características, fueron aplicados con buenos resultados en el control de posición [Fernando 98, Bisso 99, Francisco 2000]. En este trabajo, los controladores de dos grados de libertad, son empleados para el control de posición y fuerza.

En principio es presentado el modelo para el manipulador interactuando con el entorno, posteriormente es realizado el análisis y proyecto del controlador 2DOF.

## Bases Teóricas

### 3.1 Modelo Manipulador Entorno

La descripción de la interacción entre el robot y el entorno, se realiza utilizando dos sistemas de coordenadas: el primero considera las articulaciones del robot y el segundo es compuesto de variables que describen las direcciones en las cuales es admitido el movimiento del efector final desde el punto de vista del entorno. Este modelo permite proyectar leyes de control para fuerza y posición considerando velocidades admisibles y fuerzas de contacto explícitas cuando el contacto entre el robot y el entorno es definido.

### 3.2 Modelo Cinemático

Consideremos un robot con  $n$  grados de libertad, compuesto por una cadena cinemática abierta de cuerpos rígidos y parametrizados por el vector  $q \in \mathcal{R}^n$  de variables de articulación, que pueden ser articulaciones de revolución o de traslación.

Sea  $r=(p,o)$  un vector de dimensión 6, donde  $p$  es el vector que describe la posición del elemento final en el espacio cartesiano  $\mathcal{R}^3$  y  $o=(\varphi,\vartheta,\gamma)$  corresponde a la orientación determinada por los ángulos de Euler. Con estas consideraciones, la cinemática del elemento final expresada en función de las variables de articulación es:

$$r = \Theta(q) \quad (1)$$

Donde  $\Theta(q)$  es un vector de funciones no lineales que describe la relación entre las variables de articulación y el espacio cartesiano y  $J_a(q)$  es una matriz de dimensión  $6 \times n$  conocida como *Jacobiano Analítico*.

El vector de velocidades  $v=(\dot{p},\omega)$  compuesto por la velocidad lineal  $\dot{p}$  y la velocidad angular  $\omega$ , está relacionada con  $\dot{r}$  a través de la expresión:

$$v = G(r)\dot{r}, \quad G(r) = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0 \\ 0 & G_\theta(\varphi, \vartheta, \gamma) \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde  $G_0=(\varphi, \vartheta, \gamma)$  es una matriz de dimensión  $(3 \times 3)$ , que expresa la relación de  $(d\theta/dt)$  con la velocidad angular  $\omega$ . Definiendo:

$$J(q) = G(\Theta(q)) J_a(q),$$

el vector de velocidades generalizadas puede ser escrito ahora como función de la velocidad de articulaciones  $\dot{q}$  de la forma:

$$v = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \omega \end{bmatrix} = J(q) \dot{q} \quad (3)$$

donde  $J(q)$  es el jacobiano básico del manipulador, conocido como *Jacobiano Geométrico*, que es no singular en la región de operación. Existen configuraciones en el espacio de trabajo del manipulador que producen un Jacobiano Singular. En estas singularidades, el manipulador pierde uno o más grados de libertad. Como consecuencia, el rango del Jacobiano disminuye y es imposible obtener su inversa. En este trabajo es considerado el Jacobiano de rango completo que puede ser obtenido planificando el movimiento del manipulador fuera de las configuraciones singulares.

En los casos donde existe contacto, las coordenadas de articulación no son suficientes o no son adecuadas para determinar la tarea a ser ejecutada. La tarea de contacto es mejor descrita en un sistema de coordenadas que considere el entorno donde la tarea será ejecutada [Luca 94]. Por este motivo, las variables  $s_k \in \mathcal{R}^k$  y  $s_d \in \mathcal{R}^d$  son escogidas como parámetros para el entorno. El primer parámetro está asociado a las direcciones en las cuales el movimiento del elemento final está restringido y el segundo considera las restricciones dinámicas del elemento final. Entonces son establecidas las  $k$  direcciones donde el movimiento del elemento final es posible, las  $d$  direcciones correspondientes a las restricciones dinámicas de movimiento; las  $6-k-d$  direcciones donde el movimiento es completamente restringido y por lo tanto cualquier acción del elemento final puede causar una fuerza de reacción del entorno.

Considerando las anteriores definiciones, la posición y velocidad del elemento final vistas del entorno son dadas por:

$$r = \Gamma(s)$$

$$\dot{r} = \frac{\partial \Gamma(s)}{\partial s} \dot{s} = \frac{\partial \Gamma(s)}{\partial s_1} \dot{s}_1 + \frac{\partial \Gamma(s)}{\partial s_d} \dot{s}_d \quad (4)$$

donde  $\Gamma(s)$  es un vector de funciones no lineal que relaciona  $s$  con  $r$ . Del análisis anterior es observado que las ecuaciones (1) y (4) describen la misma posición en el espacio, considerando el lado del manipulador y el lado del entorno, por esta razón la siguiente ecuación de acoplamiento debe ser cumplida:

$$r = \Theta(q) = \Gamma(s) \Rightarrow \Theta(q) - \Gamma(s) = 0 \quad (5)$$

Substituyendo (4) en (2) y usando (4), puede ser obtenido el vector de velocidades generalizadas como función de  $s$  y  $\dot{s}$  de la forma:

$$v = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \omega \end{bmatrix} = T(s)\dot{s} = T_1(s)\dot{s}_1 + T_4(s)\dot{s}_4 \quad (6)$$

donde  $T(s) = G(\Gamma(s))(\Gamma'(s)/\alpha(s))$  tiene el mismo propósito que el Jacobiano del manipulador y es considerado de rango completo en la región de operación. Dado que la velocidad  $v$  es única, en las coordenadas del entorno (6) o de las coordenadas del robot (3), la siguiente igualdad es obtenida:

$$v = T(s)\dot{s} = J(q)\dot{q} \quad (7)$$

En contactos puramente cinemáticas, las fuerzas de reacción no realizan ningún trabajo en las direcciones admisibles de movimiento,

$$v^T F_r = \begin{bmatrix} \dot{p}^T & \omega^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_r \\ m_r \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

donde  $f_r$  son las fuerzas de reacción y  $m_r$  son los momentos de reacción del elemento final. La fuerzas generalizadas de reacción pueden ser escritas de la forma:

$$F_r = Y_r(s)\lambda_r \quad (9)$$

Donde las líneas de la matriz  $Y_r$  forman una base para las direcciones donde las fuerzas de reacción son posibles y  $\lambda_r \in \mathcal{H}^{6-k-d}$  es el vector de multiplicadores de Lagrange para las mismas fuerzas. Substituyendo (6) y (9) en (8) se obtiene la siguiente igualdad:

$$T^T(s)Y_r(s) = 0 \quad (10)$$

en donde la matriz  $Y_r(s)$  puede ser seleccionada. De la misma forma se puede mostrar que las fuerzas admisibles de contacto ( $F=F_r+F_a$ ) no realizan trabajo a lo largo de las restricciones cinemáticas, de forma que:

$$T_k^T(s)F = 0 \quad (11)$$

La fuerza  $F_a=Y_a(s)\lambda_a$  es ocasionada por la reacción dinámica del entorno. La matriz  $Y_a(s)$  es escogida para satisfacer la siguiente condición

$$T_k^T Y_a=0.$$

### 3.3 Modelo Dinámico

Utilizando consideraciones de energía junto con la formulación de Lagrange, el siguiente modelo dinámico es obtenido para el sistema Robot-Entorno [Luca 94]:

$$M(q)\ddot{q} + n_m(q, \dot{q}) = u(t) - J^T(q)F \quad (12)$$

$$M_e(s_d)\ddot{s}_d + n_e(s_d, \dot{s}_d) = T^T_d(s)F \quad (13)$$

donde  $M(q)$  es la matriz de inercia del robot, que es cuadrada de orden  $n$  y definida positiva;  $u(t)$  corresponde al vector de torques / fuerzas en cada uno de los ejes;  $M_e(s_d)$  es la matriz de inercia del entorno, cuadrada de orden  $d$  y positiva definida, y:

$$n_m(q, \dot{q}) = c(q, \dot{q}) + g(q) \quad (14)$$

$$n_e(s_d, \dot{s}_d) = D_e \dot{s}_d + K_e s_d \quad (15)$$

Donde  $c(q, \dot{q})$  representa los torques centrífugos y de Coriolis;  $g(q)$  es el vector de torques gravitacionales;  $D_e$  y  $K_e$  son las matrices de amortiguamiento y de rigidez del entorno. La ecuación (12) describe la dinámica del robot y la ecuación (13) describe la dinámica del entorno en  $d$  direcciones dinámicas. El entorno es asumido como un sistema lineal de segundo orden. El modelo es completado por las ecuaciones (7) y (11).

Si bien el modelo definido es apropiado para simulación y análisis, la síntesis de control es más adecuada a través de la representación en ecuaciones de estado. Por esto derivando la ecuación (7) con respecto al tiempo:

$$T_k(s)\ddot{s}_k + T_d(s)\dot{s}_d + \dot{T}_k(s, \dot{s})\dot{s}_k + \dot{T}_d(s, \dot{s})\dot{s}_d = J(q)\ddot{q} + \dot{J}(q, \dot{q})\dot{q} \quad (16)$$

Resolviendo las ecuaciones (12) y (13) para  $\ddot{q}$  y  $\ddot{s}_d$ , y reemplazando estos resultados en (16), el modelo obtenido es:

$$\begin{bmatrix} \lambda_a \\ \lambda_r \\ \dot{s}_i \end{bmatrix} = Q^{-1} (m + JM^{-1}u) + \zeta \quad (17)$$

$$Q = [(A + R)Y_a \quad RY_r \quad T_i] \quad (18)$$

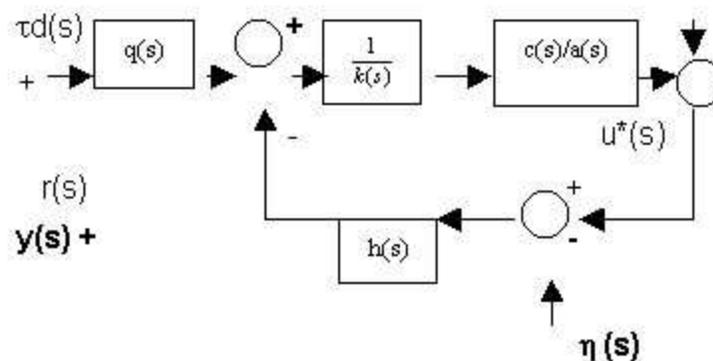
$$m = -T_i \dot{s}_i - T_d s_d + T_d M_e^{-1} n_e + J\dot{q} - JM^{-1} n_e \quad (19)$$

con  $A = T_d M_e^{-1} T_d^T$ ,  $R = JM^{-1} J^T$  y  $\zeta = [\zeta_a \quad \zeta_r \quad \zeta_s]^T$ .

Es importante observar que la fuerza y la condición de contacto no aparecen explícitamente. Por este motivo un controlador utilizando la dinámica inversa podría ser fácilmente obtenido, donde el objetivo es controlar las fuerzas en las direcciones dinámica ( $\lambda_a$ ) y estática ( $\lambda_r$ ) y el movimiento en las direcciones cinemáticas ( $\ddot{s}_k$ ).

La estructura del controlador 2DOF utilizado es ilustrada en la figura 1.

## CONTROLADOR 2DOF



**Figura 1:** Controlador de Dos Grados de Libertad

El sistema a ser controlado es representado por una función de transferencia racional y estrictamente propia:

$$G(s) = \frac{y(s)}{u^*(s)} = \frac{c(s)}{a(s)} \quad (20)$$

donde los polinomios  $a(s)$  y  $c(s)$  son asumidos como coprimos.

El controlador 2DOF tiene dos entradas, la salida a ser controlada y la entrada de referencia, y una salida (la variable de control).

Una ventaja de la estructura 2DOF al contrario de estructuras clásicas como PID y PD, es que permite considerar en forma independiente objetivos de malla (estabilidad, robustez, atenuación del ruido) y objetivos de salida [Wolovich 95, Fernando 98].

Una localización arbitraria de polos y estabilidad de malla cerrada pueden ser alcanzados determinando polinomios  $h(s)$  y  $q(s)$  de orden  $(n-1)$ .

El comportamiento entrada salida puede ser obtenido a través del cancelamiento de  $n-1$  polos de malla cerrada con las raíces del polinomio  $q(s)=\alpha \hat{q}(s)$  de orden  $n-1$ . La función de transferencia correspondiente es:

La selección de los polinomios  $\hat{\delta}(s)$  y  $\hat{q}(s)$  con grados  $n$  y  $n-1$  respectivamente puede ser realizada a través de la minimización del índice cuadrático **LQR** como:

$$J_{LQR} = \int_0^{\infty} [\rho(y(t) - r(t))^2 + u^*(t)^2] dt \quad (24)$$

Los polos óptimos de malla cerrada pueden ser obtenidos a través de las siguientes factorizaciones espectrales:

$$\begin{aligned} \Delta(s) &= a(s)a(-s) + \rho c(s)c(-s) = [\Delta(s)]^+ [\Delta(s)]^- \\ \bar{\Delta}(s) &= a(s)a(-s) + \sigma c(s)c(-s) = [\bar{\Delta}(s)]^+ [\bar{\Delta}(s)]^- \end{aligned} \quad (25)$$

Donde las  $n$  raíces de  $\Delta(s)^+=0$  y  $\bar{\Delta}(s)^+=0$  pertenecen a la región estable del plano complejo. Los factores de ponderación  $\rho>0$  y  $\sigma>0$  permiten escoger diferentes polos de malla cerrada y por lo tanto modificar la ganancia en frecuencia y la respuesta de salida.

El seguimiento de referencia y la eliminación de la perturbaciones pueden ser obtenidas utilizando el *principio del modelo interno*. En forma particular

para el error  $e(t)=y(t)-r(t)$ , debido a una referencia, es definido por la siguiente función de transferencia:

$$\frac{e(s)}{r(s)} = \frac{a(s)k(s) + c(s)[h(s) - q(s)]}{\delta(s)} \quad (26)$$

Con la referencia dada por  $r(s)=m_r(s)/p_r(s)$  el error nulo en régimen permanente es obtenido si:

$$k(s) = \bar{m}_r(s)p_r(s) \quad (27)$$

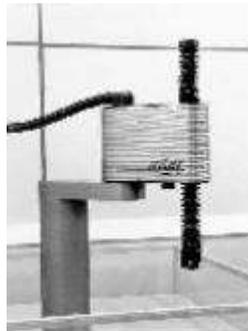
$$h(s) - q(s) = \hat{h}(s)p_r(s) \quad (28)$$

La ecuación (27) representa el clásico principio del modelo interno, y la ecuación (28), impone algunas restricciones para la selección de  $q(s)$ , que son tomadas en cuenta en el proyecto.

El procedimiento detallado corresponde al algoritmo para *error nulo y robusto en régimen permanente* a través del índice LQR propuesto por [Wolovich 95].

### 3.4 Descripción del Robot SCARA

El robot SCARA a ser empleado en las simulaciones ilustrado en la figura 2, fue construido en el instituto de robótica de la Universidad Técnica de Zurich *ETH*, en Suiza.



**Figura 2:** Robot Industrial SCARA

Este robot tiene cuatro grados de libertad. La primera, segunda y última articulación son de rotación y la tercera de traslación. Los actuadores en

cada una de las articulaciones son motores de corriente alterna, la transmisión en las dos primeras articulaciones es realizada a través de *harmonic drives* [Gruener 2001], con una reducción de  $100/1$ , cuya salida está conectada directamente a cada uno de los brazos del robot. En las dos últimas articulaciones la reducción es realizada a través de poleas y cadenas, que mueven un sistema *ball-screw-spline*. Los dos últimos motores trabajan de forma acoplada provocando movimientos simultáneos en estas dos articulaciones.

Las mediciones de posición y velocidad son realizadas a través de sensores de posición (*encoders*) y de sensores de velocidad (*tacómetros*). Un sensor de fuerza es acoplado entre la muñeca y el elemento final para la medición de la fuerza y momentos en los ejes  $x,y,z$  del sistema de referencia. Los parámetros correspondientes a cada una de las articulaciones del robot son presentadas en la tabla 1.

$q_i$	M(Kg)	l(m)	I(Kg m <sup>2</sup> )	$l_c$ (m)
$q_1$	11.4	0.25	0.23	0.118
$q_2$	19.5	0.25	0.16	0.116
$q_3$	2	-	0.1	-
$q_4$	1.5	0	0.1	0

**Tabla 1:** Parámetros del Robot SCARA

### Definición de la Tarea

Considerando el sistema de coordenadas en la base del robot y su correspondiente espacio de trabajo, una tarea de corte es definida para mover el elemento final sobre el eje  $x$  de la posición  $0.15\text{ m}$  a  $0.45\text{ m}$ , siguiendo una trayectoria especificada por un polinomio de quinto orden y manteniendo las dos últimas articulaciones fijas en  $0.4\text{ m}$  y  $0.0\text{ rad}$  respectivamente; por otro lado una fuerza variable de  $0\text{ N}$  a  $2\text{ N}$  es aplicada sobre el eje  $-z$ , la fuerza también varía de acuerdo a un polinomio de quinto orden.

Por las características constructivas del robot SCARA, la variable de restricciones cinemáticas  $s_k$  puede ser definida en los ejes  $x$  y como:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 + s_k \end{bmatrix} = \Gamma(s_k) \quad (29)$$

derivando la ecuación (29) respecto al tiempo se obtiene:

$$v = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dot{s}_k = T_k \dot{s}_k \quad (30)$$

La fuerza de reacción es parametrizada en la forma  $F_r = Y_r \lambda_r$ , donde la matriz  $Y_r$  debe satisfacer la condición de ortogonalidad,  $T^T Y_r = 0$ . Entonces es obtenido:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{r11} \\ Y_{r21} \end{bmatrix} = 0 \quad (31)$$

con  $Y_r = [1 \ 0]^T \Rightarrow F_r = Y_r \lambda_r = [\lambda_r \ 0]^T$ .

## Resultados de Simulación

Considerado inicialmente el caso nominal. Las funciones auxiliares de transferencia  $p_r$  y los factores de ponderación  $\rho$  y  $\sigma$  utilizados para determinar los polinomios  $h(s)$ ,  $k(s)$  y  $q(s)$  para los controladores de fuerza y posición son presentados en la tabla 2; estos factores fueron obtenidos de forma que sean cumplidas, las condiciones de malla y las condiciones de salida.

Control	$P_r$	$\rho$	$\sigma$
Fuerza	$1/s^2$	$10^4$	0
Posición	$1/s$	$10^4$	$10^{11}$

**Tabla 2:** Factores de ponderación

Las figuras (3), (4), (5) y (6) ilustran los errores de posición y fuerza respectivamente así como las ganancias de malla y la funciones de sensibilidad para los controladores. Se puede observar que los errores son del orden de  $10^{-4}$  y  $10^{-2}$  y que el error en régimen permanente es nulo. Por otro lado a través del análisis de ganancia de malla y de la función de sensibilidad definidas como:

$$L(j\omega) = \frac{c(s)h(s)}{a(s)k(s)}, \quad S(j\omega) = \frac{a(s)k(s)}{\delta(s)} \quad (32)$$

se puede verificar los siguientes valores de margen de ganancia GM, margen de fase  $\Phi M$  y margen de estabilidad  $\bar{s}=1/\max|s(j\omega)|$  [wolovich,95]: malla de posición GM = 10 db,  $\Phi M=32^\circ$  y  $\bar{s}=1$  db; para la malla de fuerza GM=15 db,  $\Phi M = 31^\circ$  y  $\bar{s}=0.01$  db estos valores proporcionan al proyecto buenas propiedades de robustez a variaciones paramétricas y perturbaciones externas, lo que es de extremo interés para futuras aplicaciones prácticas.

Fueron proyectados controladores de dos grados de libertad considerando restricciones cinemáticas. Los controladores fueron proyectados eliminando las no linealidades del robot y usando el índice LQR. Una tarea de corte fue simulada considerando el espacio de trabajo del robot y fue observado el desempeño de los controladores propuestos, cuyos resultados de simulación fueron satisfactorios. En la actualidad, está siendo realizada la implementación práctica.

### 3.5 Controladores didácticos

A continuación se ilustra una gama de controladores comerciales didácticos.

#### [NUEVO! - DX100](#)

Basándose en la tecnología de control patentada multirobot, la nueva generación del controlador MOTOMAN DX100 maneja fácilmente múltiples tareas incluyendo el control de hasta 8 robots (72 ejes), así como dispositivos I/O y protocolos de comunicación.



El NXC100 es uno de los controladores de robot más pequeño de su clase.



[NXC100](#)



### XRC

El controlador XRC incluye un potente microprocesador de 32 bits para el procesamiento de datos rápido, control avanzado del movimiento del robot que mejora la calidad y productividad mediante servo respuesta mejorada para el control del movimiento, y con



### Sistema Dual de Motores Bus I2C para Robots

RD01 es un kit de locomoción completo para robot que incluye motores con encoder que proporcionan una gran precisión sobre el movimiento real de las ruedas. El kit viene completo e incluye todo lo necesario para mover un robot de tamaño pequeño o mediano de una forma muy sencilla y con solo disponer de una alimentación única de 12 V tanto para los motores, como para el circuito de control. El kit esta compuesto por el circuito de control MD23 S310112 dos motores con encoder EMG30de 12 V S330100, dos soportes de motor S360300 y dos ruedas de 100 mm S360182. EL circuito se controla por bus I2C muy fácilmente desde cualquier procesador, ya que incluye registros específicos para dirección, velocidad, aceleración, etc. e incluso para leer el consumo de corriente de los motores. Gracias a este kit es muy fácil disponer de un sistema de locomoción profesional que proporciona información precisa sobre el movimiento de las ruedas, permitiendo hacer una navegación de alta precisión.



### [Controlador Digital Doble de Motores hasta 50V y 5 Amp](#)

MD22 es un potente circuito controlador dos motores de corriente continua de hasta 24 voltios y 5 amperios por cada uno, por lo que resulta ideal para controlar los motores de cualquier robot pequeño o mediano. Este circuito tiene múltiples interfaces, incluyendo bus I2C, modo servo rc, modo pulso PWM y modo analógico 0- 5 V facilitando la comunicación con cualquier microprocesador. Tiene alimentación única de 5 voltios. Este regulador es ideal cuando se requiere un control preciso y suave de los motores.



### [Controlador Doble de Motores con Encoder MD23](#)

MD23 es un circuito de tipo puente en H capaz de controlar dos motores de corriente continua de hasta 3 amperios y 12V. El circuito se controla externamente mediante un bus I2C que permite su comunicación con cualquier microcontrolador moderno, incluyendo BasicX, Pic, Atmel y un largo etc. El circuito cuenta con numerosos registros que controlar la aceleración, la velocidad, la corriente de cada motor y los contadores de los encoders de cada motor. También, cuenta con su propio regulador de tensión que proporciona hasta 300 ma para alimentar un circuito externo, por lo que solo es necesario la alimentación de 12V tanto para la electrónica como para los motores. Cuenta con varios modos de trabajo incluyendo uno independiente con o sin control de velocidad y otro modo diferencial que facilita el trabajo a la hora de controlar un robot con comandos de velocidad y dirección. Este circuito cuenta con entradas para encoders de motores que devuelven un tren de impulsos conforme gira el eje del motor. Esto permite al circuito aplicar mayor o menor potencia a los motores para conseguir que alcance la velocidad real establecida en el registro correspondiente. De esta forma se consigue que la velocidad sea siempre la misma independientemente de la carga o la resistencia que encuentre el motor.



### [Controlador para Robot Basado en BasicX24](#)

El Mini Atom es un circuito de control para robots que utilizan como procesador los microcontroladores Basic X24 y compatibles como el Basic Stamp 2, el oopic, o el Basic Atom. (no incluido). El circuito proporciona la interfaz de conexión al pc, así como numerosas conexiones para, sensores, servos, pulsadores, alimentación, etc. Incluye la posibilidad de utilizar alimentación independiente para los servos y para la lógica. Bus de entrada salida en bloques de 4 puertos con alimentación y tierra que facilitan la conexión de diferentes dispositivos resultando muy sencillo de programar e interconectar con los diferentes módulos del robot. El circuito viene completamente montado y las conexiones de alimentación son mediante tornillos por lo que no es necesario conectores especiales. Compatible con la mayoría de los procesadores de 24 y 28 pines del mercado.



### [Circuito Controlador 2 Servos con Palanca](#)

Circuito controlador manual de 2 servos con palanca tipo JoyStick. Este circuito controlador está especialmente indicado para controlar el movimiento de 2 servo motores con una palanca lo que resulta muy útil en aplicaciones como controladores de movimiento de cámaras pan and tilt. El circuito es capaz de controlar todo tipo de servos estándar mediante los dos cables de conexión de servo de 20 cm. También cuenta con un jack de alimentación de 5.5 x 2.5 mm que le permite alimentar el circuito y los servos con cualquier fuente entre 4 y 6 Voltios, aunque también puede alimentarse directamente desde los pines del servo con un cable de servo doble en Y no incluido. La palanca de control es de tipo auto centrada, pero puede modificarse para evitar la acción del muelle y que permanezca quieta en la posición deseada. La dirección de funcionamiento de cada servo también puede cambiarse dando la vuelta a la conexión de los cable. El

pulso de salida va desde los 900 ms a 2100 ms aproximadamente con un valor central de 1500 ms.



#### [Circuito de Control Hasta 32 Servos](#)

SCC32 es un circuito de control de servos de hasta 32 canales que destaca por su alta resolución, su precisión de movimientos y la suavidad con la que los realiza gracias a que incorpora funciones de control de movimiento basadas en tiempo, velocidad o una combinación de ambas. El circuito tiene un rango de trabajo de 180 grados con una salida que va desde 0,50ms hasta 2,50 ms. Y una resolución es de 1  $\mu$ S. Tiene un modo de funcionamiento en grupo y otro modo compatible con el circuito MiniSSC II. Las salidas de servos, también pueden emplearse como puertos de salida digitales a nivel TTL. La conexión se realiza a nivel RS232 o a nivel TTL. La velocidad puede conmutarse entre 2400 y 115200 baudios. La alimentación puede ser única o bien independiente para los servos y para la electrónica. Alimentación 5,5 - 9 V. Hay disponible de un software gratuito.



#### [Circuito Microprocesador Basic X24](#)

El BasicX-24P es el microcontrolador programable en Basic más potente del mercado, Este circuito es todo lo que necesita para poner en marcha cualquier proyecto de robótica. El BasicX-24 reúne en un circuito del tamaño de un chip de 24 patas a un microcontrolador Atmel, una memoria EEPROM de 32Kbytes, un regulador de tensión y un puerto RS232 de forma que basta con escribir los programas en Basic en el PC y luego volcarlos al módulo, para que este los ejecute de forma totalmente autónoma. Puede alimentarse desde cualquier tensión entre 5 y 24 V usando el regulador interno, o bien una fuente regulada entre 3 y 5.5V. El nuevo modelo BasicX24P actual tiene además un rango de temperaturas de trabajo extendido de -40 a +85 °C. Y esto no es más que el principio, consulte la página de más información para saber más sobre este potente procesador.



### [USB-RLY08 Circuito de Control de Relés USB](#)

USB-RLY08 es un circuito controlador de 8 relés que se conecta mediante un bus USB y se controla desde cualquier aplicación que mande datos por un puerto serie. Con este circuito se pueden controlar hasta 8 relés de forma independiente desde cualquier PC. El circuito cuenta con 8 relés de 1 circuito y dos posiciones que se pueden controlar mediante ordenes enviadas desde el PC. El circuito incluye un chip convertidor de USB a serie, por lo que desde el punto de vista de la programación, lo único que hay que hacer es enviar los datos de control deseados a un puerto serie. Esto quiere decir que cualquier programa que mande datos por un puerto serie, puede controlar el circuito y accionar los relés según desee. El circuito se alimenta directamente desde el bus USB y cuenta además con un led en cada relé que muestra el estado actual de cada canal.



### [Convertidor de RS232 a Ethernet](#)

Siteplayer Telnet es un dispositivo que permite controlar un puerto serie desde cualquier red TCP /IP. Esto significa que puede controlar cualquier dispositivo que tenga un puerto serie desde una red local o bien desde internet. El sistema incluye un conector RJ45 para conectarlo a una red ethernet por un lado y un puerto serie de 9 pines por el otro. El sistema es de reducido tamaño y permite transferir datos de forma binaria usando los protocolo TCP/IP y UDP. El puerto serie se puede ajustar a velocidades comprendidas entre 50 y 115000 baudios, con paridad par, impar o sin paridad. También se puede seleccionar entre un control de flujo por hardware, por software o sin control y una longitud de datos de 7 u 8 bits. Dispone de las siguientes señales de puerto serie: RTS, CTS, DTR, DSR, DCD Y RI. Toda la configuración se realiza mediante un navegador de internet facilmente. Además se puede optar a proteger por contraseña el acceso y ha seleccionar entre el modo cliente y el modo servidor. Alimentacion 7,5 V - 12V. Consumo :150 mA. Dimensiones: 2,4 x 5,6 x6,8 cm.



### [Circuito Controlador Multi Interfaz Basado en dsPIC30F401](#)

ICM4011 es sistema de desarrollo basado en procesador digital de señal de última generación que destaca por sus múltiples interfaces de comunicación y sus numerosos puertos de entrada y salida que permiten desarrollar aplicaciones de captura y control de una forma rápida y sencilla. El procesador del circuito es un Microchip dsPIC30F4011 con una capacidad del cálculo de hasta 30 MIPS que viene pre programado de fábrica un firmware que permite descargar los programas directamente desde un puerto serie o desde el bus usb, sin necesidad de un programador externo. Esto quiero decir que basta con crear los programas en el PC y después descargarlos por el bus usb hasta el ICM4011 para que estos se ejecuten inmediatamente. El bus usb, puede además utilizarse para alimentar directamente al circuito, siendo innecesario utilizar una fuente externa. El circuito cuenta con interfaz USB, RS232, RS485, SPI, CAN y Bus I2C. También incluye todos los pines del procesador mediante conectores de poste que permite realizar toda clase de conexiones, incluyendo entradas y salidas digitales y 8 puertos de entrada analógicos. El kit incluye el circuito de control, un cable de conexión usb y un disco con toda la documentación, varios ejemplos prácticos con sus correspondientes programas y el entorno de desarrollo de Microchip y el compilador de C en versión de aprendizaje. Su bajo coste, su pequeño tamaño y gran potencia de cálculo, convierten el circuito ICM4011 como la solución más adecuada para el desarrollo y la fabricación de prototipos y series cortas.



### [USB-I2C Interfaz I2C para PC](#)

USB-I2C es un circuito interfaz que convierte señales usb en señales de bus I2C. El circuito se alimenta directamente desde el propio bus USB por lo que es muy cómodo de manejar. Este circuito utiliza el integrado convertidor de USB a Serie de la casa FTDI por lo que hay disponibles controladores tanto para Windows como para Apple y Linux. Una vez instalado el driver el circuito aparece en el ordenador como un puerto serie más, por lo que todo lo que hace falta para poder controlar dispositivos I2C es mandar las ordenes directamente al puerto serie y el circuito se encarga de traspasarlas

directamente al bus I2C. Gracias a este circuito se pueden controlar desde un PC cualquier dispositivo I2C, incluyendo los sensores de distancia por ultrasonido SRF02, SRF08, SRF10 de nuestro catalogo. Si no se utiliza el bus I2C, el circuito actúa como puertos de entrada y salida normales que se controlan desde el PC por USB. En este caso se tiene una línea de entrada y dos puertos mas que pueden funcionar como entradas o salidas. Hay disponible un software de control de ejemplo para Windows que permite controlar los puertos desde el PC.



[Circuito OSD por RS232](#)

Circuito OSD que permite mostrar caracteres e informaciones encima de cualquier señal de vídeo. El circuito permite mostrar un total de 11 líneas de texto de 28 caracteres cada una. Los caracteres a mostrar proceden de un puerto serie RS232 a 2400 o 4800 baudios por lo que resulta muy sencillo para cualquier procesador o microcontrolador mostrar información encima de una señal de vídeo. El circuito resulta muy útil para mostrar información de sensores y luego transmitir la señal de vídeo junto con la información utilizando un solo transmisor de vídeo. Los robots que tienen cámaras y se manejan a control remoto también pueden beneficiarse de este circuito para presentar toda la información en pantalla. También resulta muy útil en todas aquellas aplicaciones en las que haya que sobre imponer encima de una imagen, textos o datos con información complementaria, como es el caso de procesos industriales o similares. Características: Sistema de vídeo PAL. Alimentación: 8 - 14 V 60mA. Area de Texto: 11 líneas de 28 caracteres. Tamaño del carácter: 12 x 18 pixeles. Dimensiones 65 x 65 x 13 mm.

**CAPITULO 4**  
**CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS**

## 4.0 PROPÓSITO

Facilitar el proceso de enseñanza - aprendizaje en el alumno con los cuales se complementa la teoría analizada en clase en algunos tópicos correspondientes a las materias de física, laboratorio de tecnología educativa y robótica entre otras, así mismo estas prácticas pueden repercutir en la identificación temprana de vocaciones en el ámbito de las ingenierías y la investigación lo que contribuirá a futuro al desarrollo tecnológico del país. Se utiliza el material tecnológico como una herramienta técnico pedagógico, con el fin de aprender a solucionar activamente problemas, aprender a trabajar en equipo y desarrollar los contenidos de ciencia y tecnología e integrar áreas como: matemáticas, física y lenguaje.

Esta filosofía de aprendizaje se puede resumir con la frase: "el niño aprende a través del juego". Las raíces de esta filosofía se extienden de nuevo a Jean Piaget y su profesor Seymour Paper, quien desarrolló una teoría conocida como: "Construccionismo". De acuerdo con esta teoría, el alumno aprende a través del juego, construyendo su propio conocimiento al reproducir modelos de la vida real. Esta forma de trabajo ha demostrado ser altamente eficaz y de mucha diversión para los alumnos.

## 4.1 CONSTRUCCION DE ROBOTS

La construcción de robots se realiza por medio de la marca comercial “**dacta**”, la cual proporciona un kit que incluye información técnica de construcción de robots (fascículos ELAB) y todos los elementos físicos requeridos al respecto, los cuales son utilizados

Por alumnos de la materia de física de segundo y tercer grado de secundaria

El kit incluye elementos mecánicos, señores y controladores didácticos de aplicación real



Fascículos ELAB DACTA

## Equipo para trenes de engranes, transmisiones y palancas



Kit completo



Detalle de elementos de ensamble



Los fascículos indican a detalle la construcción de los robots



Alumnos de la asignatura de física comprobando lo visto en clase de manera recreativa



Kit de construcción de robots



## 4.2 Aplicaciones en laboratorio

### 4.2.1 Aplicaciones en la materia de física

A continuación realizaremos la aplicación práctica en laboratorio de robótica en los temas vistos en la materia de física para los cual seleccionamos tres temas a analizar

#### a) Movimiento armónico simple

##### Descripción

Una partícula describe un movimiento armónico simple es cuando se mueve a lo largo del eje X, estando su posición x dada en función del tiempo t por la ecuación



$$X = A \text{ sen } (\omega t + \phi)$$

Donde

A es la amplitud

$\omega$  es la frecuencia angular

$\omega t + \phi$  la fase

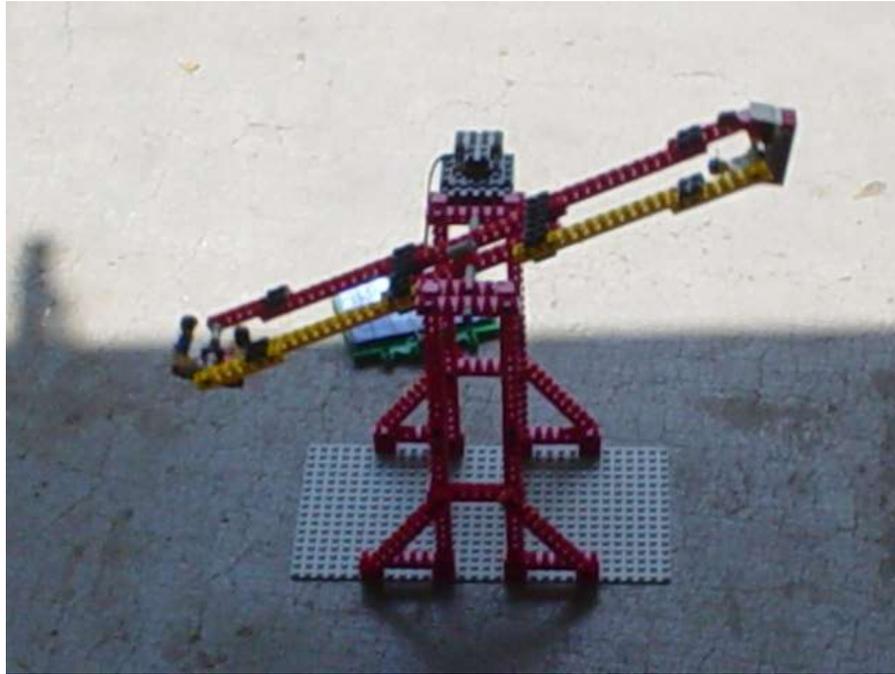
$\phi$  es la fase inicial

Las características del movimiento armónico simple son:

Como los valores de la función seno son +1 y -1, el movimiento se realiza en una región del eje x comprendida entre +A y -A

La función seno es periódica y se repite cada  $2\pi$ , por tanto, el movimiento se repite cuando el argumento de la función seno se incrementa en  $2\pi$ , es decir, cuando transcurre un tiempo P tal que  $\omega(t + P) + \phi = \omega t + \phi + 2\pi$

$$P = \frac{2\pi}{\omega}$$



**b) Movimiento oscilatorio**

**c) Movimiento vibratorio**

**Movimiento periódico:**

Un movimiento se dice periódico cuando a intervalos iguales de tiempo, todas las variables del movimiento (velocidad, aceleración, etc.) toman el mismo valor. Ejemplo. La Tierra gira alrededor del Sol.

**Movimiento oscilatorio:**

Son los movimientos periódicos en los que la distancia del móvil al centro, pasa alternativamente por un valor máximo y un mínimo. Ejemplo Un péndulo oscilando.

## Fascículos y elementos a seleccionar para la construcción de mecanismos en movimiento circular uniforme

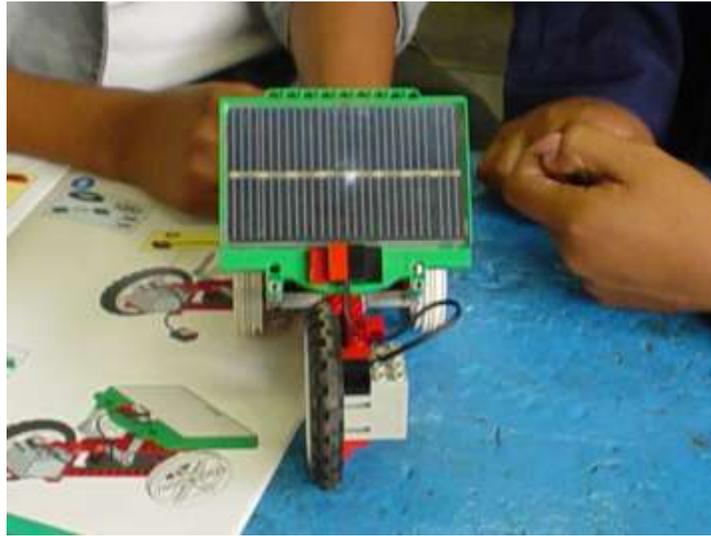


### 4.2.2 En Energías Renovables

El objetivo es dar a conocer y concientizar a los alumnos en la utilización de energías limpias ecológicas para este caso el “LEGO DACTA” incluye ejemplos de aplicaciones con foto celda



## KIT CON FOTOCELDA



## DETALLE DE LA FOTOCELDA

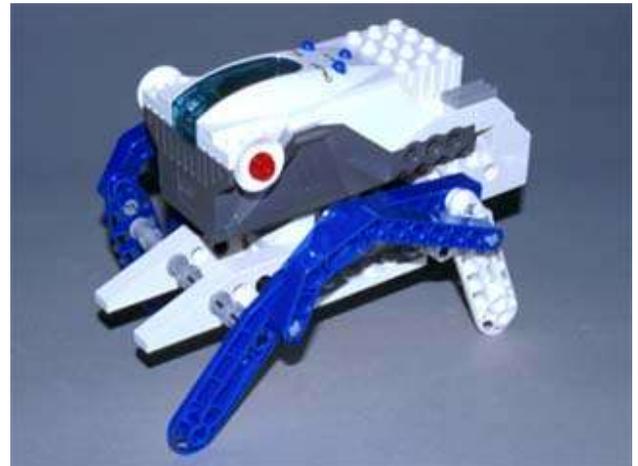
## EJEMPLO DE ROBOT CONSTRUIDO CON FOTOCELDA

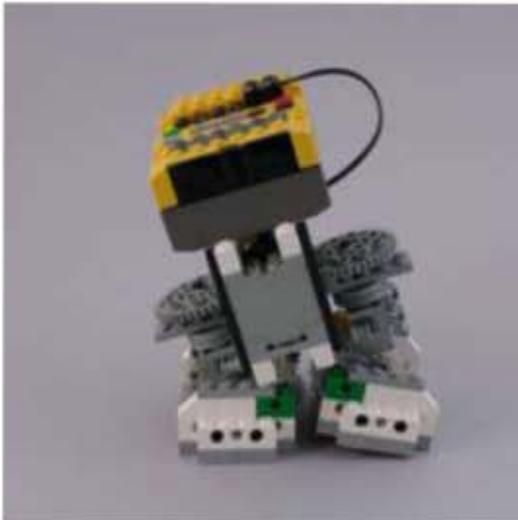
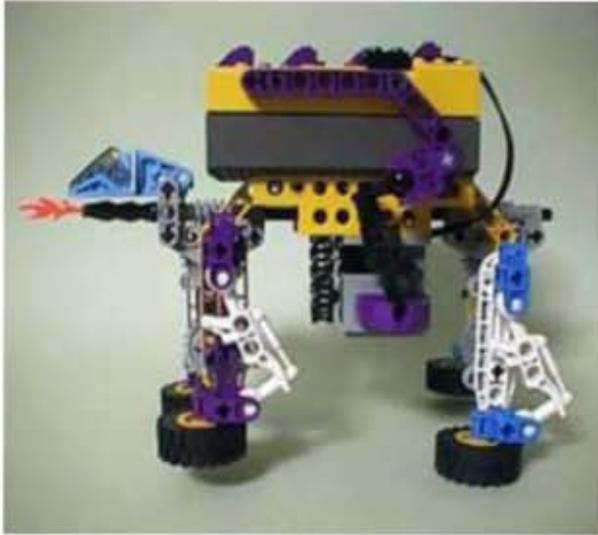


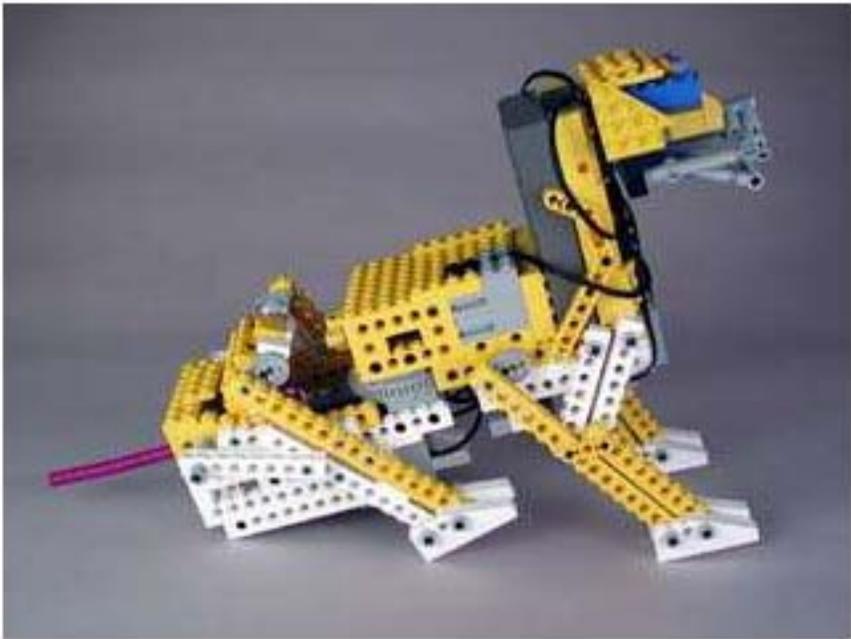


### 4.2.3 Aplicaciones Diversas

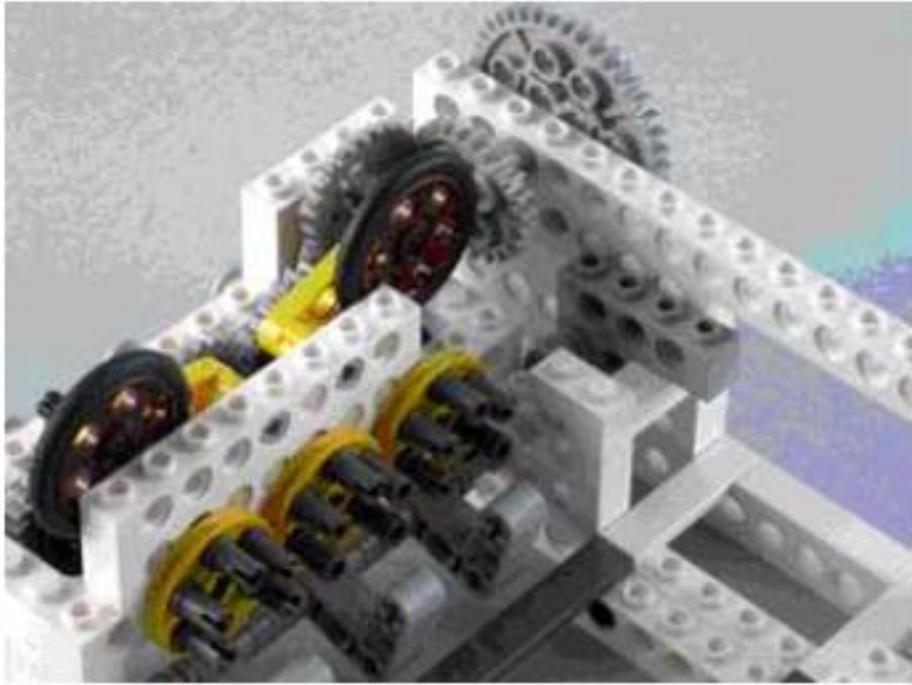
Ejemplos de mecanismos, dispositivos, figuras y robots que podemos armar con los paquetes de lego dacta.

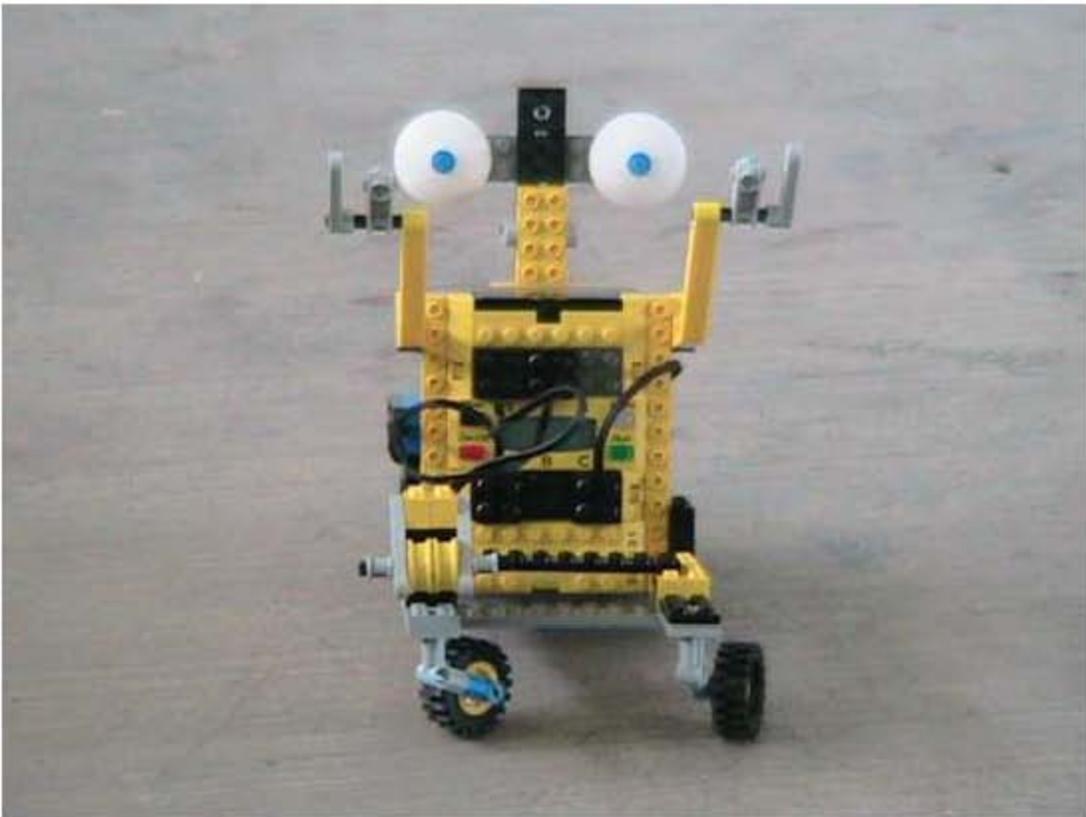
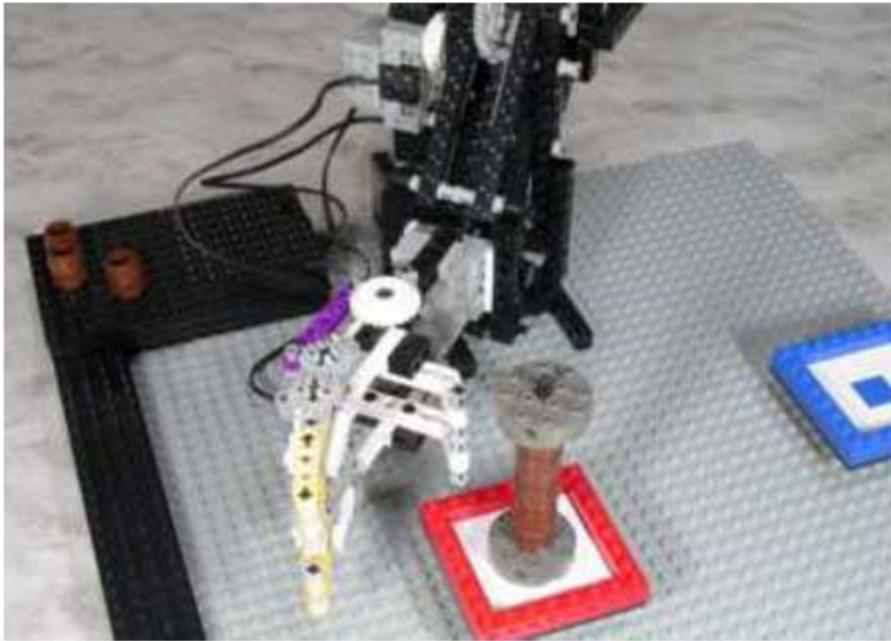


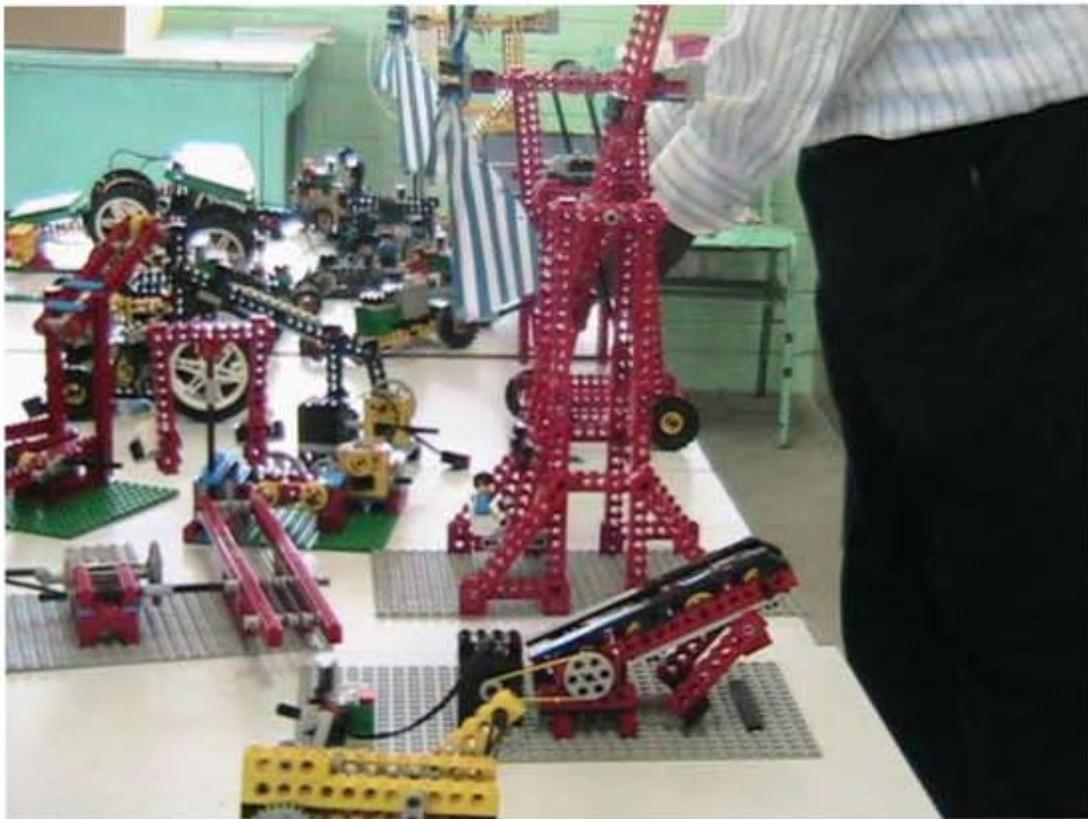


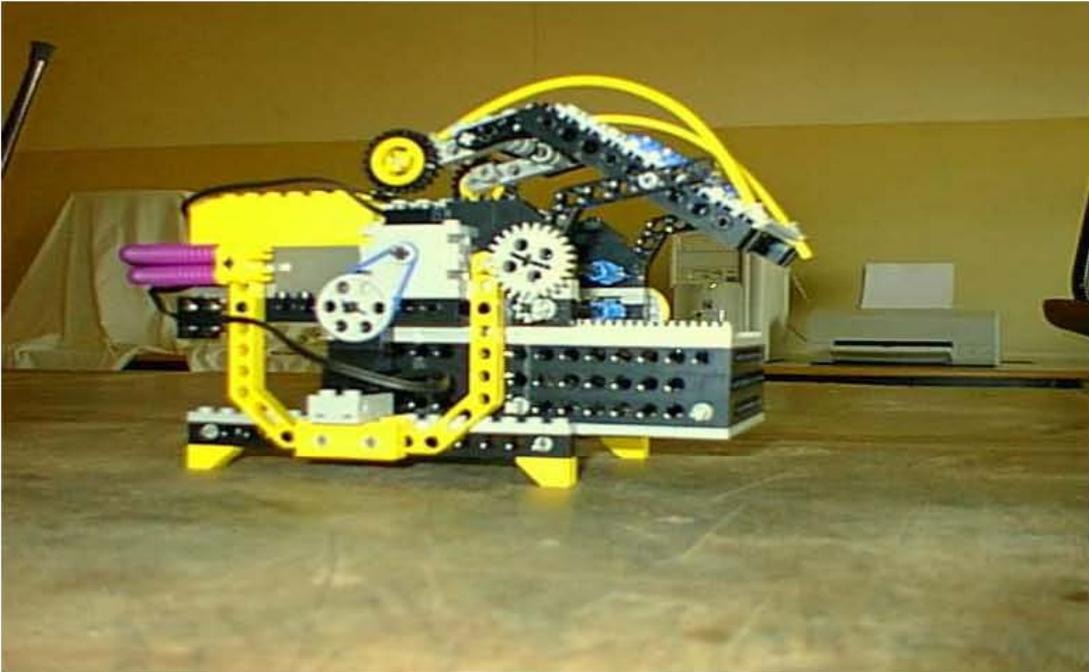


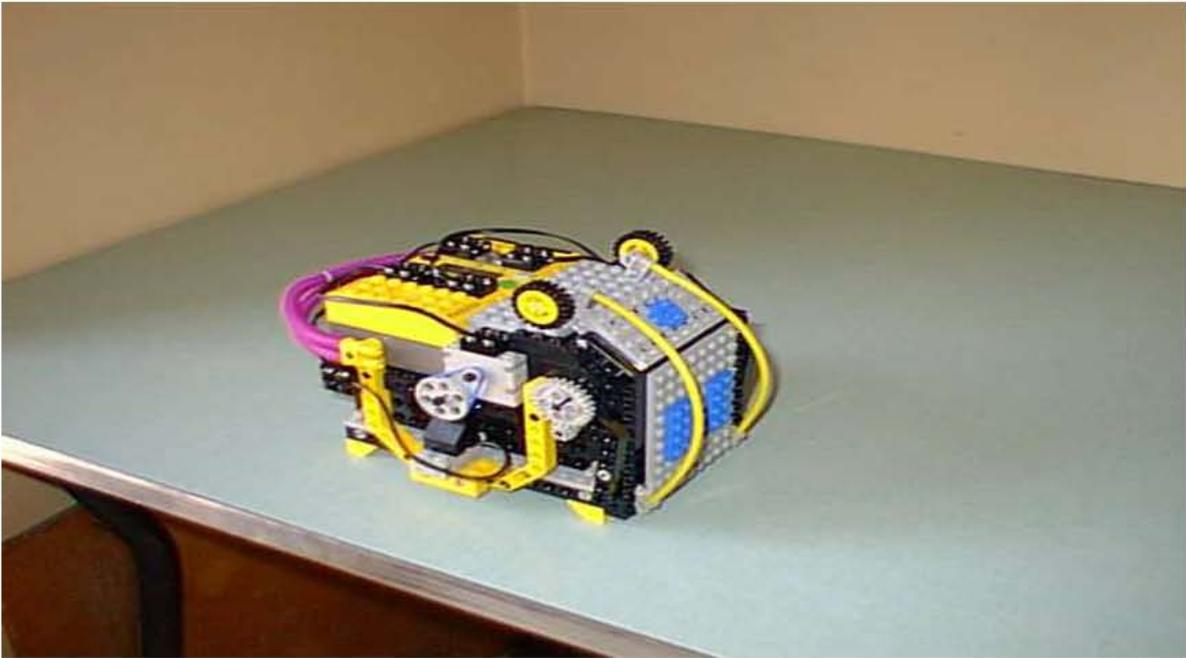


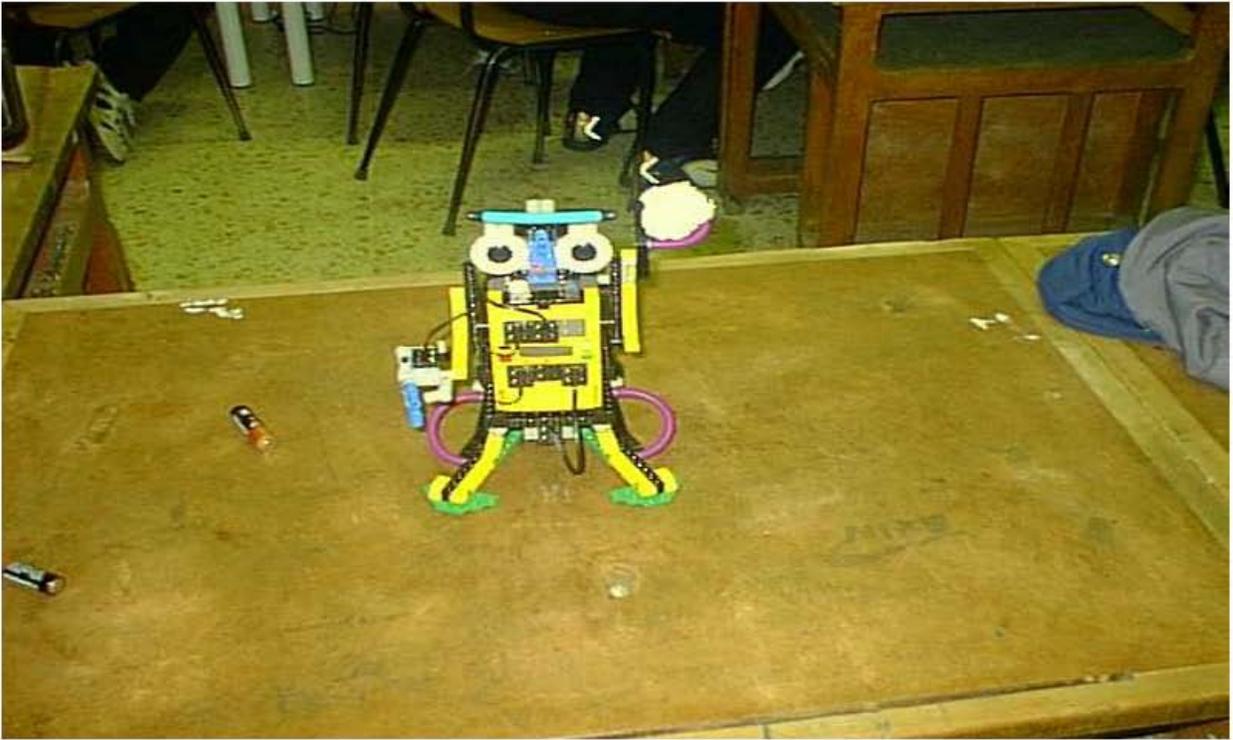












## CONCLUSIONES

Es importante mencionar que la aplicación de la robótica con fines pedagógicos no se ha difundido en nuestro país por lo cual no es de uso común en estos centros de educación temprana, según investigación realizada por vía internet y por medio de compañeros que laboran en diferentes secundarias de la Ciudad de México y su Área Metropolitana

Lo que si puedo afirmar que mis alumnos y en general lo de los profesores que utilizan esta técnica, denotamos que el alumnado a incrementado sus calificaciones y su interés por la técnica. Así mismo puedo concluir que mis alumnos del nivel medio educativo en su vida futura se dedicaran a muy diferentes actividades algunos serán comerciante, oficiales, técnico, o profesionistas de diferentes especialidades médicos, abogados, biólogos, ingenieros, arquitectos; pero todos ellos sabrán que existe una gran variedad de controladores y sensores con los que tanto ellos como sus hijos podrán construir un robot educativo. A si como que todo el hardware expuesto resulta accesible para su uso en la educación primaria o secundaria. Elegir un desafío (robot a construir) adecuado será una decisión fundamental ya que basado en ella se despiertan vocaciones tecnológicas, el nivel de asimilación se incrementa y como consecuencia se mejora la calidad de la educación en las materias involucradas.

## BIBLIOGRAFIA

- Bisso, C. J. V.**, *Controle de Posição de Robôs Manipuladores Rígidos e com Transmissões Flexíveis*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, (1999).
- Chiavernini and L. Sciavicco**, *The parallel approach to force/position control of robotic manipulators*, IEEE, Transactions on Robotics and Automation, 361-373, (1993).
- Fernando T. P. V. and Holohan A.**, *Independent Joint Control using two degree of freedom control structures*, Proceeding of IEEE International Conference on Control Applications, 552-556, Italy (1998).
- Javier. T. Vargas, E. R. de Pieri e E. Castelan**, *Controle de Posição de um Robô tipo SCARA Usando Controladores de Dois Graus de Liberdade*, Congresso Brasileiro de Automática, 699-704, Brasil, (2000).
- Hogan N.**, *Impedance Control: Na Approach to manipulation part I, II, III*, Journal of Dynamics Systems Measurements and Control, 1-24, (1985).
- Hüppi R. and Gruener**, *Software Documentation for SCARA Robot*, Swiss Federal Institute of Technology, Swiss, (2001).
- LEGO SYSTEMS A/S, DK**, eLAB “Energía renovable”
- LEGO SYSTEMS A/S, DK**, eLAB “Set inicial de energía, trabajo y potencia”
- LEGODACTA, ROBOLAB y RCK**. Grupo LEGO 1999
- LabVIEW e Instrumentos Nacionales. Instruments Corporation 1999
- Luca A and Manes C.**, *Modeling of Robots in Contact with Dynamic Enviroment*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 542-548, (1994).
- Mason M. T.** , *Compliance and Control for Computer Controlled Manipulators*, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 418-432, (1981).
- McClamrock N. and Wang D.**, *Feedback Stabilization and Tracking of Constrained Robots*, IEEE Transactions on Automatic Control , 419-426, (1988).
- Raibert M. and Craig J..**, *Hybrid Position-Force Control of Manipulators*, Journal of Dynamics Systems Measurement and Control ,126-133, (1981).

- Salisbury J. K.**, *Active Stiffness Control of a Manipulator in Cartesian Coordinates*, Proceeding of IEEE International Conference on Decision and Control, 95-100, (1980).
- Vukobratovic M and Rodic A.**, *Control of Manipulation Robots Interacting with Dynamic Environment: Implementation and Experiments*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 358-366, (1995).
- Vukobratovic M and Tuneski A**, *Contact Control Concepts in Manipulation Robotics: An Overview*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 12-24, (1994).
- Weihmann L.**, *Descrição, Instalação, Programação e Funcionamento de um Robô SCARA*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, (1999).
- Whitney D. E.**, *Force Feedback Control of Manipulator Fine Motions*, Journal of Dynamics Systems Measurement and Control, 212-222, (1977).
- Whitney D. E.**, *Historical Perspective and State of the Art in Robot Force Control*, Int. Journal of Robotics Research, 3-14, (1987).
- Wolovich W. A.**, *Automatic Control Systems: Basic Analysis and Design*, Saunders College Publishing, (1995).