

# Robótica

## 1. Introducción

F. Hugo Ramírez Leyva

Cubículo 3

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

[hugo@mixteco.utm.mx](mailto:hugo@mixteco.utm.mx)

Marzo 2012

# Contenido del curso

## 1. Introducción Fundamentos Matemáticos

- Partes de un robot
- Seguridad
- Aplicaciones
- Programación

## 2. Modelado cinemático de robots

- Espacio articular y espacio Cartesiano
- Matrices de transformación
- Problema cinemático directo e inverso
- Cinemática diferencial
- Matriz Jacobiana

## 3. Modelado dinámico de robots

- Formulación de Lagrange
- Energía cinética
- Energía potencial
- Ecuaciones de movimiento
- Modelado dinámico en variables de estado

# Contenido del curso

## 4. Control cinemático de robots

- Tipos de trayectorias
- Generación de trayectorias
- Interpolación de trayectorias
- Trayectorias en el espacio articular
- Trayectorias en el espacio Cartesiano

## 5. Control de robots en el espacio articular

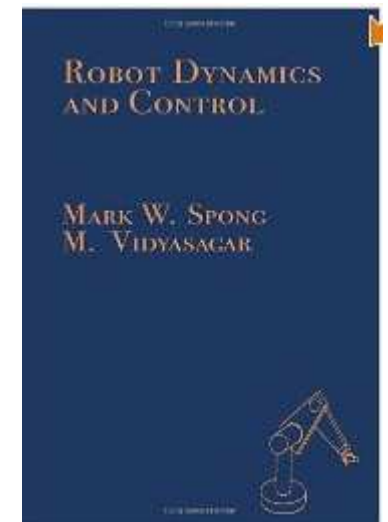
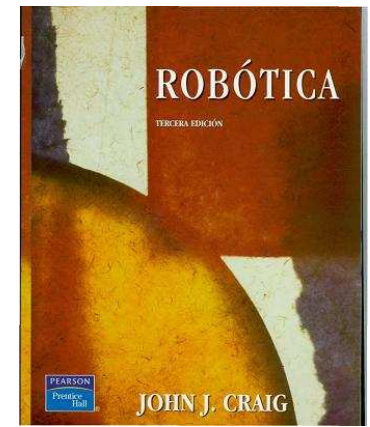
- Control PD con compensación de gravedad
- Control PID con compensación de gravedad
- Control por par calculado
- Control adaptable de robots
- Control con aprendizaje
- Control de esfuerzos
- Proyectos de control de robots

# Calificación

- Tres Parciales
  - Exámenes 50%
  - Tareas 10%
  - Prácticas 40%
    - Entrega 50%
    - Reporte 50%
- Proyecto
  - Entrega física 50%
  - Reporte 50%
- Redondeo
  - Toda calificación superior a 0.5 se redondea el entero superior
- Página del curso
  - <http://www.utm.mx/~hugo/robot.htm>
- Programas a usar
  - LabVIEW
  - Matlab / Symulink
  - Simnon

# Bibliografía

- Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín; Fundamentos de Robótica; Mc Graw Hill; 1997
- John J. Craig; Robótica 3a; Pearson Prentice Hall; 2006
- Rafael Kelly, Víctor Santibáñez; Control de movimiento de robots manipuladores; Pearson
- Mark W. Spong, ;. Vidyasagar; Robot Dynamics and Control; Hohn Wiley & Sons



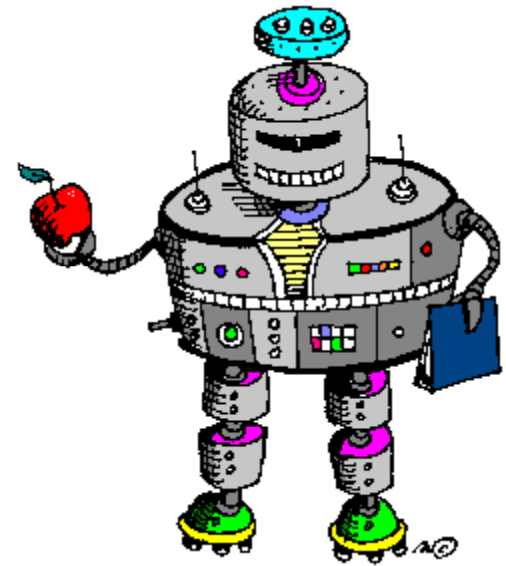
# ¿Qué es un robot?

- Cuando oímos la palabra robot, que es lo primero que imaginamos



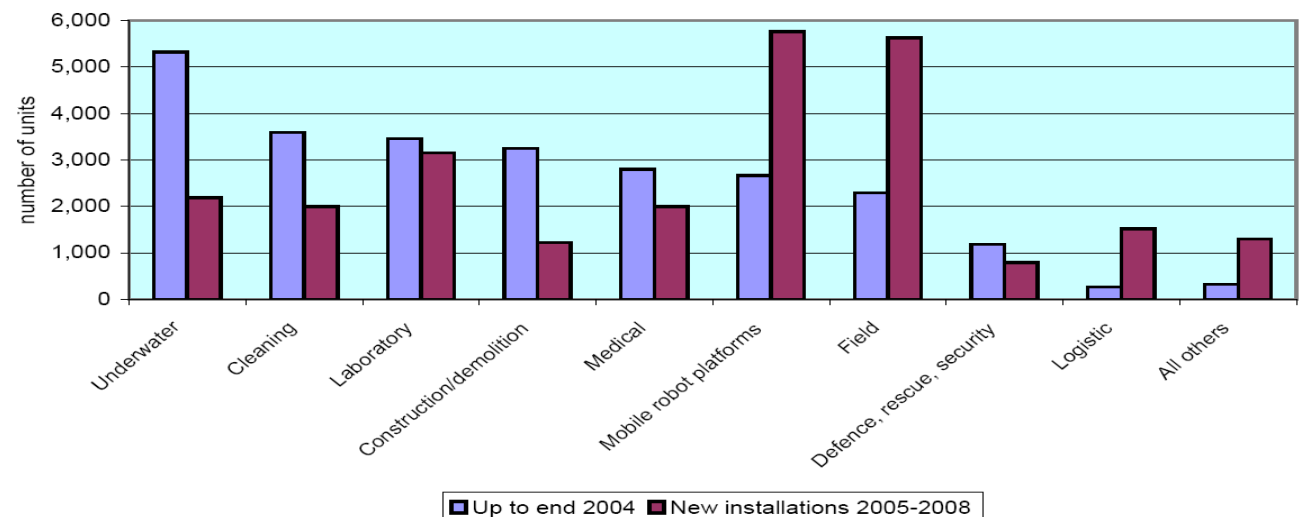
# ¿Qué es la robótica?

- La **robótica** es una rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas repetitivas o peligrosas para el ser humano
- Las ciencias y tecnologías de las que deriva son: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica, la electrónica, la informática y el control



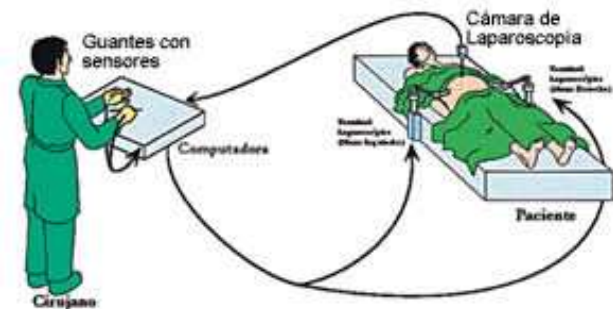
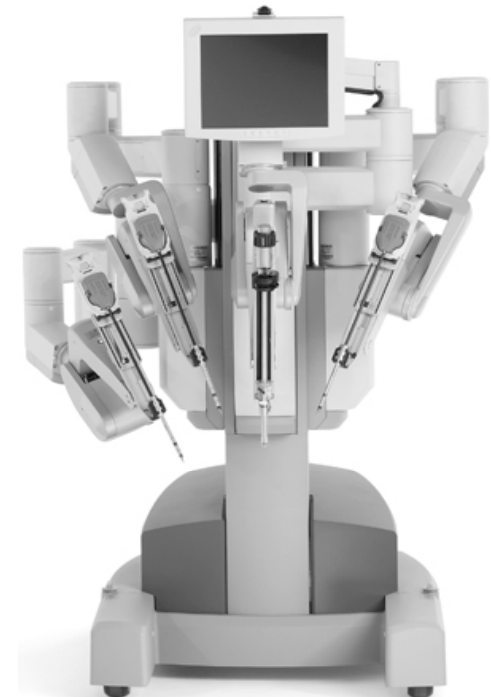
# Usos de la robótica

- Los robots se han usado tradicionalmente para tareas de automatización en el sector industrial.
- En los últimos años, se ha incrementado su uso a otros sectores como son: La agricultura, ganadería y explotación de recursos forestales, exploración submarina, entretenimiento, limpieza de la casa, e incluso algunas tan delicadas como la medicina.
- Para finales del 2009, se esperaba que hubiera 1,112,500 unidades



# Robots en la medicina

- Existen comercialmente robots que son teleoperados y que pueden realizar operaciones
- Los sistemas robóticos autorizados en EU como sistemas quirúrgicos son el Zeus y Da Vinci
- En México se han realizado operaciones de este tipo



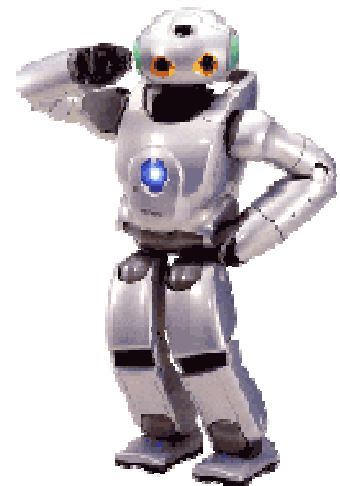
# Robots par aplicaciones Militares

- Su fin es reemplazar al ser humano en operaciones peligrosas
- Talon Sword es un rifle robot que se opera a control remoto
- BigDog es un robot perro que puede transportar 120lb (54kg), correr y trotar a 3.3mph (5.3km/h)



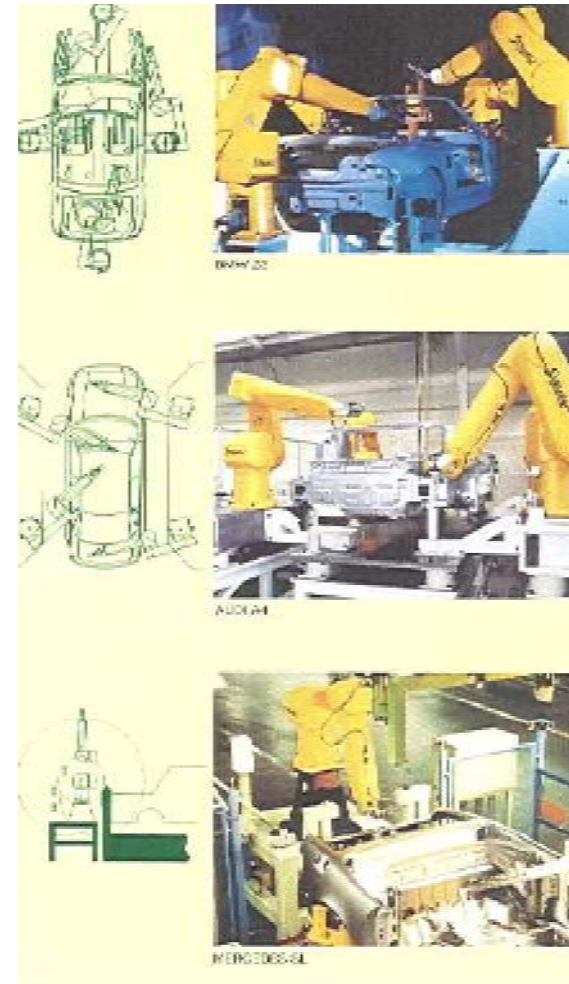
# Robots de entretenimiento

- En 1999 Sony sacó al mercado Aibo (Amigo)
  - Tiene micrófono, una cámara e inteligencia artificial.
- En 2003 Sony sacó el robot Qrio (Quest for curiosity). En respuesta al robot Asimo (Advanced Step in Innovative Mobility) de Honda



# Robots Industriales

- Un robot industrial es un manipulador de propósito general
- Controlado por computadora que consta de varios **eslabones** rígidos conectados en serie por medio de **articulaciones** prismáticas o de revolución
- Un extremo del robot está conectado a una base y el otro extremo es libre y está equipado con un sujetador o herramienta para manipular objetos

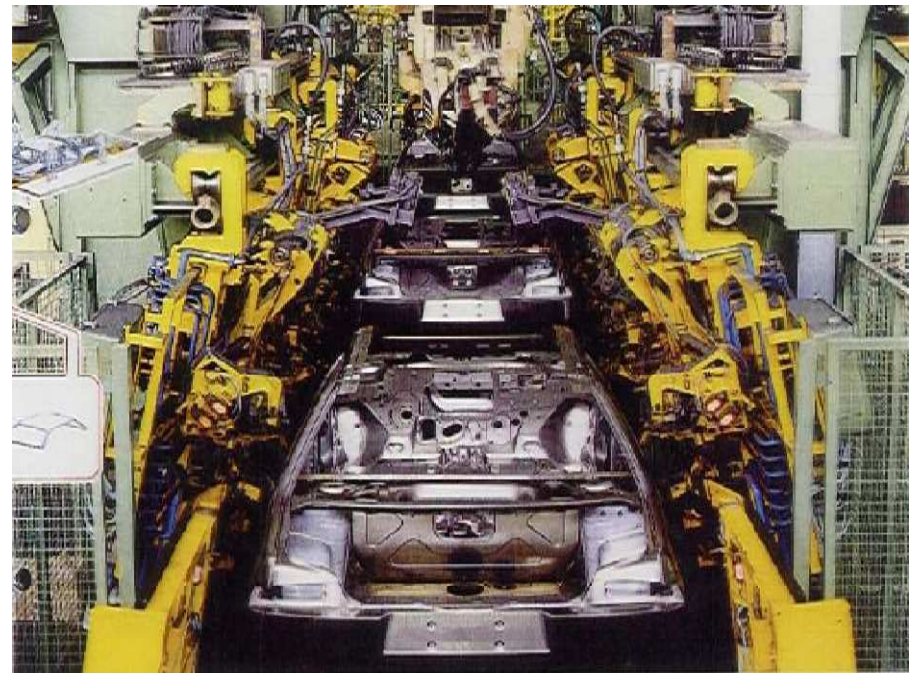


# Aplicaciones Industriales

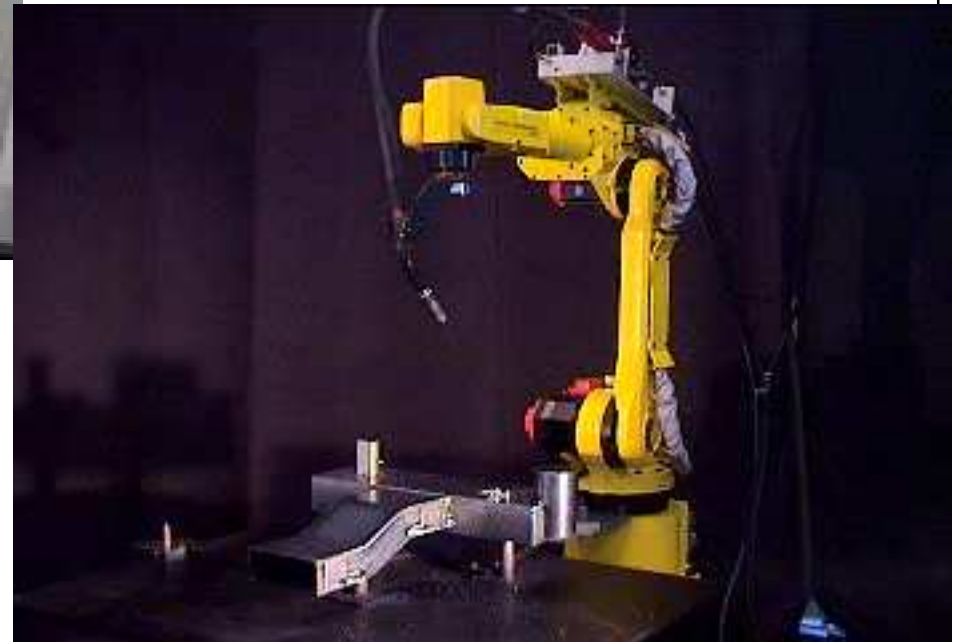
La industria automotriz es la  
No. 1 en aplicaciones

- SOLDADURA (50% de las aplicaciones en E.U.)
- CARGA Y DESCARGA
- PINTURA
- TRANSPORTE DE MATERIALES
- ENSAMBLE
- INSPECCIÓN

Fanuc Robotic,  
Motoman, Adept,  
Kuka.



# Robots Industriales



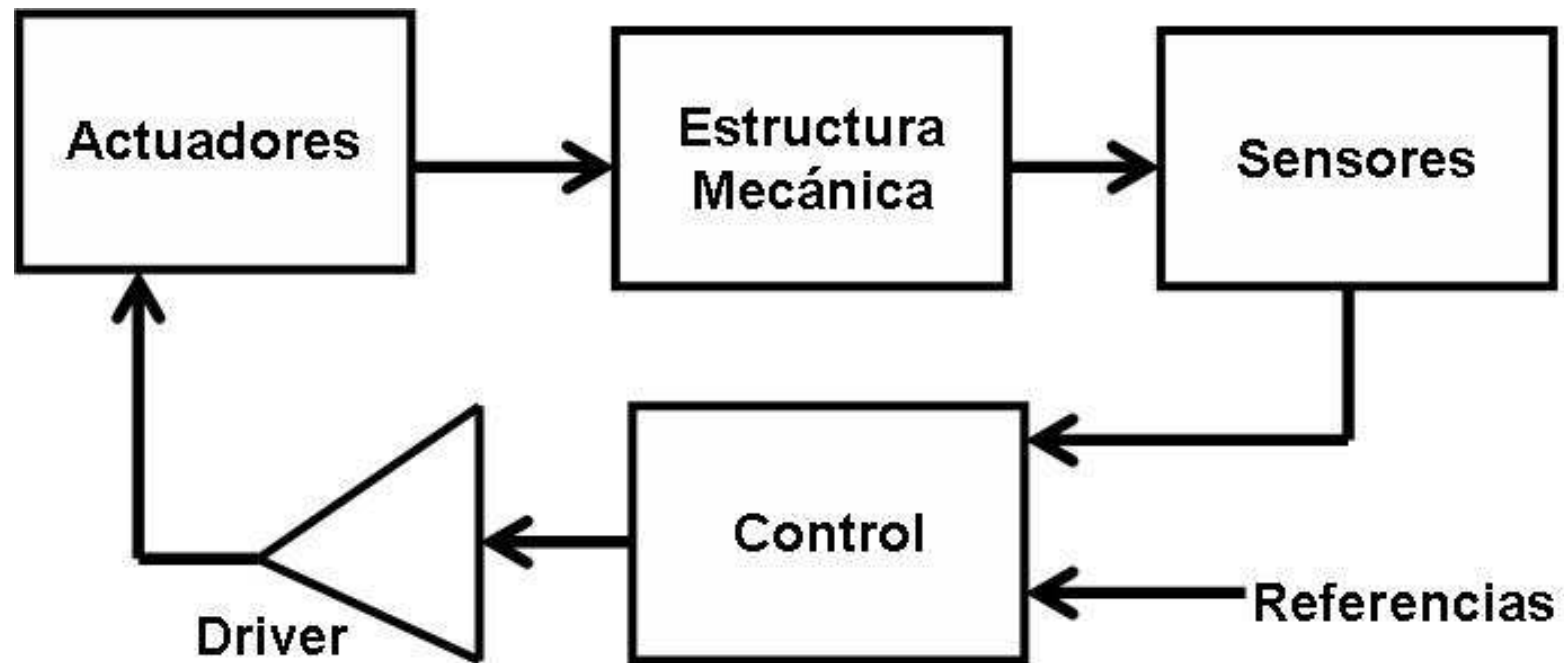
# Historia

Año	Descripción
1947	Se desarrolla el primer mecanismo eléctrico servo operado
1948	1948 R.C. Goertz desarrolla un manipulador mecánico en <i>Agronne Nacional Laboratory</i> .
1949	Se inician las investigaciones sobre controladores numéricos para fabricar piezas mecánicas
1954	1954 George Devol diseña el primer <b>robot programable</b> .
1956	Joseph Engelberger, estudiante de física de la Universidad de Columbia, compra los derechos del robot de Devol y funda la empresa Unimate
1961	Se instala el 1er robot Unimate ( <i>Universal Automation</i> ) en Trenton New Jersey, en la fabrica de G.M
1963	El primer sistema de visión para robots es desarrollado
1971	El brazo Stanford es desarrollado en la Universidad de Estanford
1972	1972 Se forma la 1ª asociación de robótica en el mundo en Japón
1973	En Stanford se desarrolla el primer lenguaje de programación para robots, el WAVE

# Historia

Año	Descripción
1974	Cincinnati Milacrom introduce el robot T3 con control por computadora
1978	Unimation introduce el robot PUMA, con base en el diseño para GM.
1979	El robot SCARA es diseñado e introducido en Japon
1981	1981 El primer robot de Transmisión Directa es desarrollado en Carnegie-Mellon University
1999	Sony saca al mercado el robot AIBO, el cual puede navegar y responder a ordenes (\$2000 us ds)
2000	Honda presenta a ASIMO, el cual puede andar corre y es muy parecido al ser humano. Mide 1.3m
2003	Sony saca el robot Qrio (Quest for curiosity). En respuesta al robot Asimo (Advanced Step in Innovative Mobility) de Honda.

# Pates de un Robot

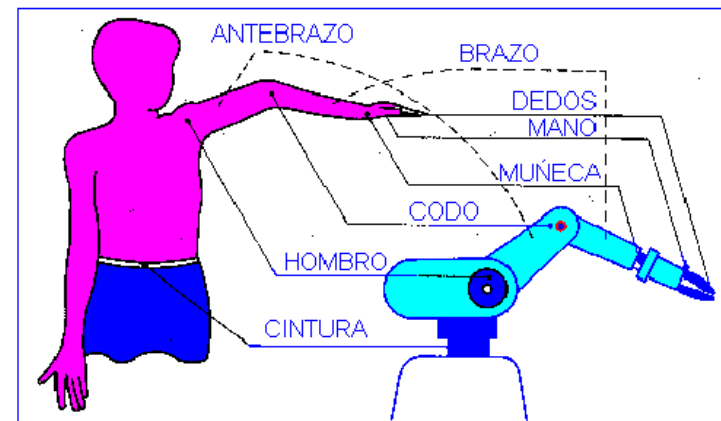
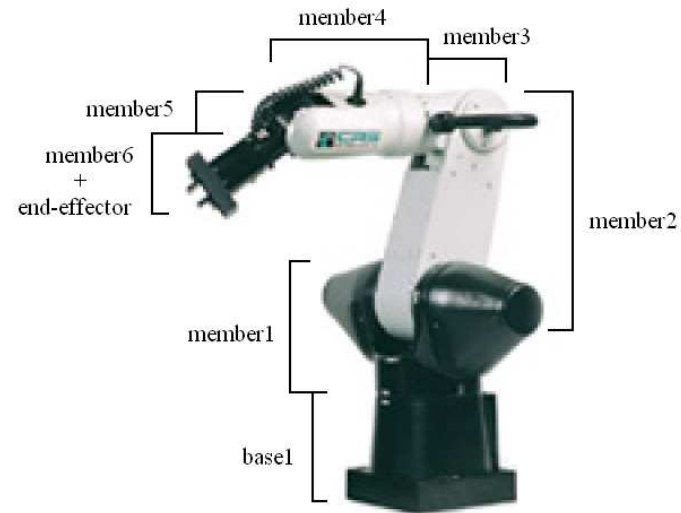


# Estructura Mecánica del Robot

- Mecánicamente un robot está formado por una serie de elementos o **eslabones**, unidos mediante **articulaciones** que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos.
  - Serie de elementos o eslabones (links)
  - Se unen con articulaciones (Joint)
  - Permiten el movimiento relativo entre eslabones consecutivos
  - Movimiento de las articulaciones: Lineal, giro o combinado
  - El elemento final que manipula las piezas se llama Efector, gripper o manipulador.

# Estructura Mecánica del Robot

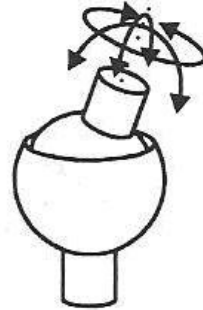
- Estructura mecánica
  - Articulaciones y eslabones
  - Transmisiones
  - Reductores
  - Actuadores



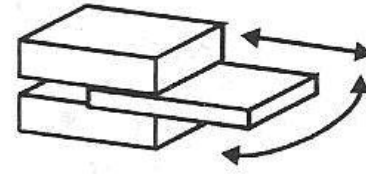
# Tipos de articulaciones

- Existen 6 tipos diferentes de articulaciones que son:

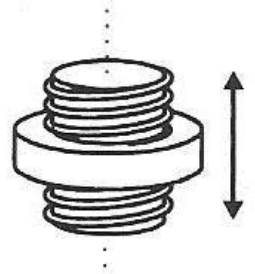
1. Esférica o rótula
2. Prismática
3. Planar
4. Rotación
5. Tornillo
6. Cilíndrica



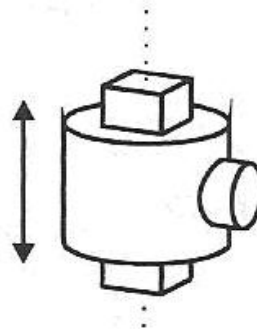
Esférica o Rótula  
(3 GDL)



Planar  
(2 GDL)



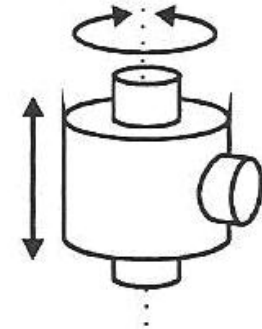
Tornillo  
(1 GDL)



Prismática  
(1 GDL)



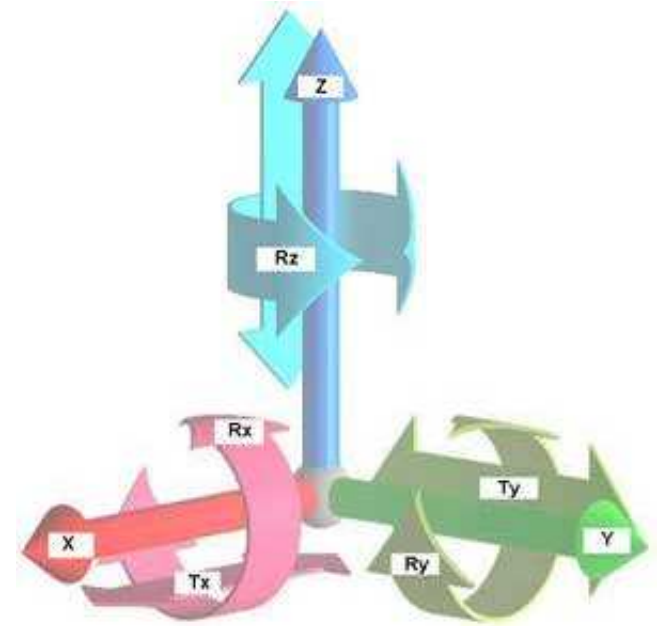
Rotación  
(1 GDL)



Cilíndrica  
(2 GDL)

# Grados de libertad

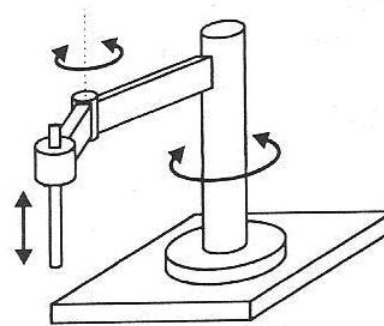
- Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior se le llama grado de libertad (GDL).
- Los GDL de un robot son la suma de GDL de cada una de las articulaciones.
- Se requieren 3GDL para posición y 3GDL de orientación para que un robot pueda colocarse en cualquier punto del ESPACIO DE TRABAJO.



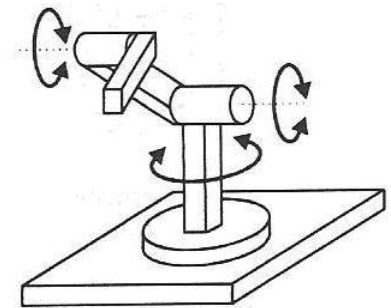
# Tipos de Robots

- En función de los tipos de articulaciones se definen algunos tipos de robots, estos son:

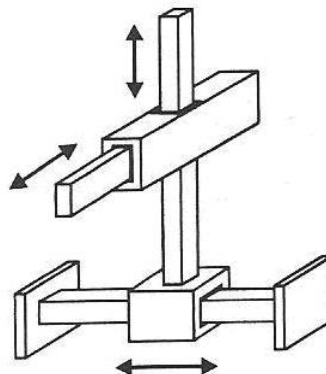
- Cartesiano
- Cilíndrico
- Esférico o polar
- SCARA
- Angular o antropomórfico



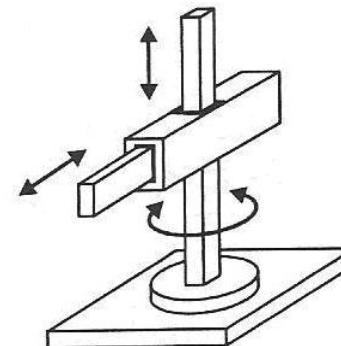
Robot SCARA



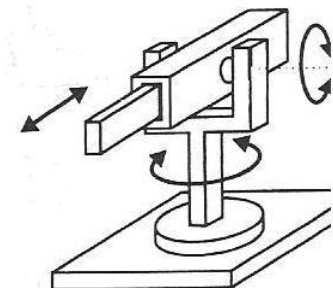
Robot angular o antropomórfico



Robot cartesiano



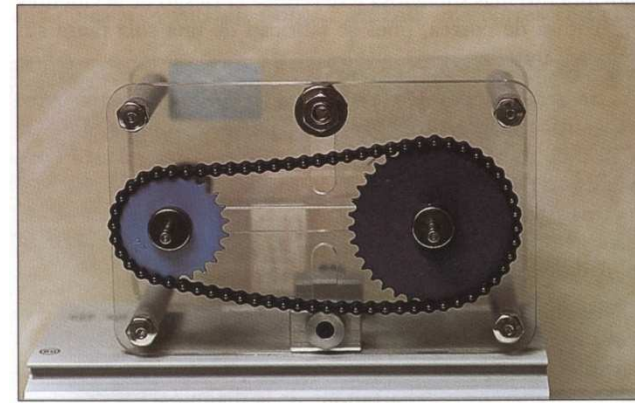
Robot cilíndrico



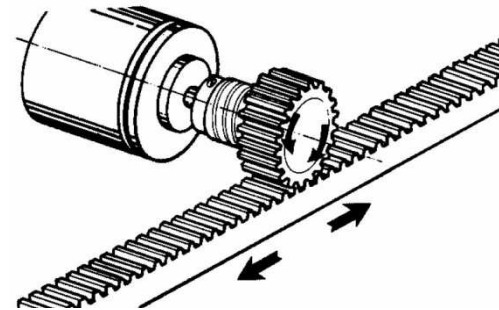
Robot esférico o polar

# Transmisiones

- Las transmisiones son elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones.
- Tipos de transmisiones
  - Circular – circular
    - Engranaje, correa dentada, cadena cable.
    - Par grande, pero se tiene holguras.
  - Circular lineal
    - Tornillo sin fin
    - Cremallera
    - Poca holgura, se tiene rozamiento
  - Lineal circular
- Holgura media, control difícil



*Mecanismo de transmisión por cadena.*



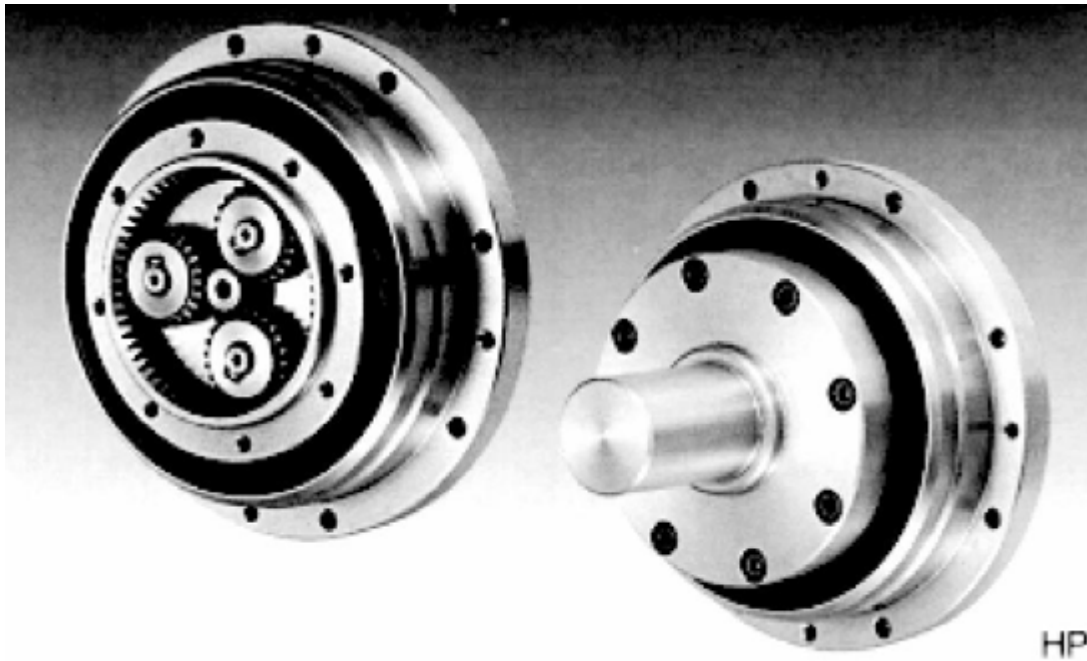
# Reductores

- Los reductores se encargan de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot.
- Principales características:
  - Peso bajo.
  - Tamaño reducido.
  - Fricción (rozamiento)
  - Backlash bajo (juego angular)

$$T_2 = \eta T_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

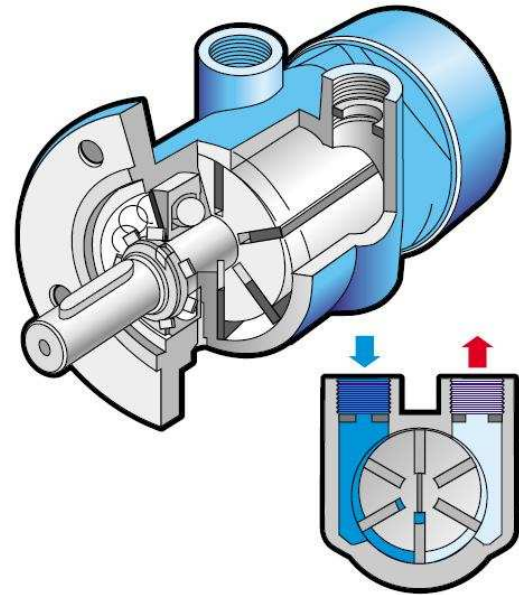


# Reductores



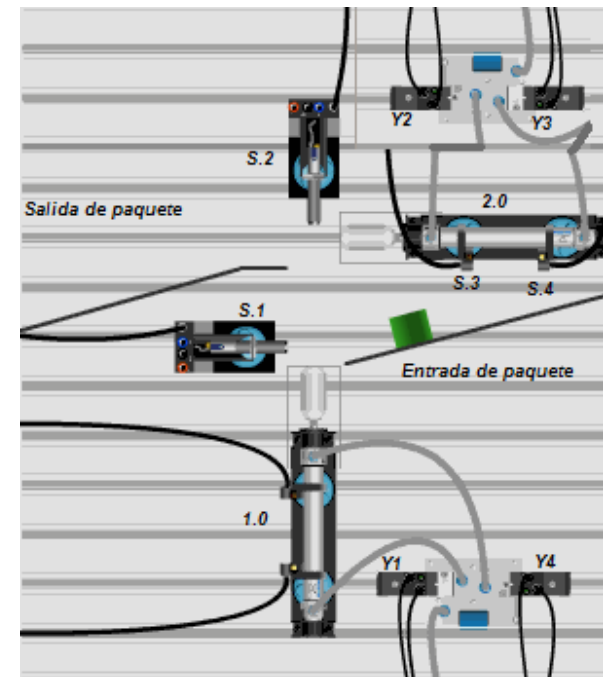
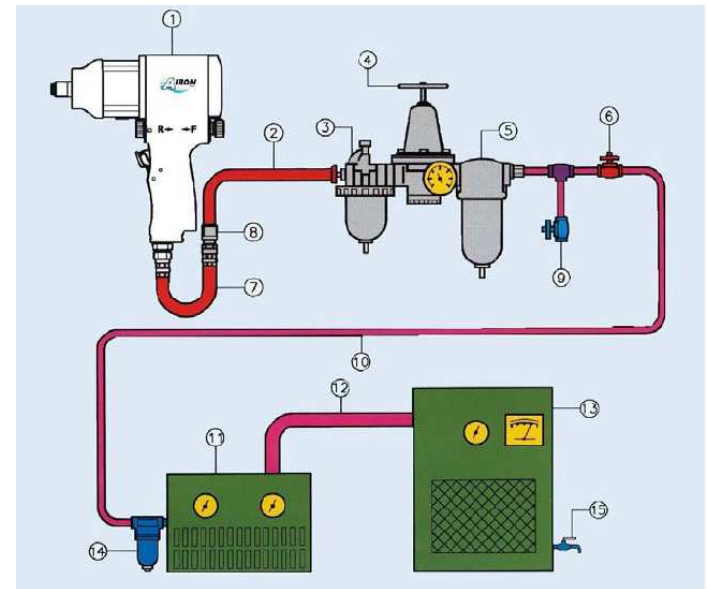
# Actuadores

- Generan el movimiento de los elementos del robot según las ordenes dadas por la unidad de control. Tipos de actuadores:
  - Neumáticos (aire).
  - Hidráulicos (aceite).
  - Electrónicos (motores).
- Características más importantes:
  - Potencia, controlabilidad, peso y volumen, precisión, velocidad, mantenimiento, costo.



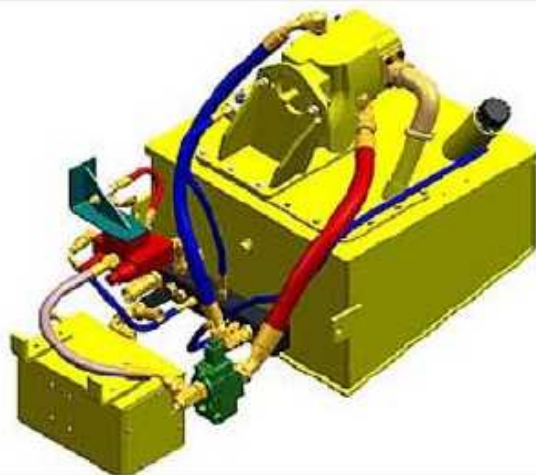
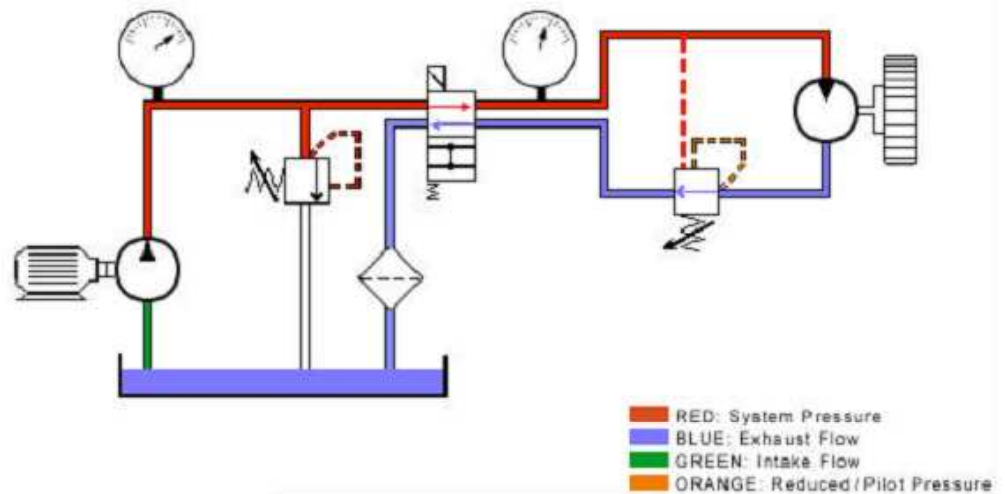
# Actuadores Neumáticos

- Fuente de energía el aire.
- Presiones típicas de 5 a 10 bar (1bar = 105N/m<sup>2</sup>). Presión atmosférica = 101325N/ m<sup>2</sup>.
- Tipos:
  - Cilindro neumático: Efecto simple, efecto doble.
  - Motor neumático: Aletas rotativas y pistones axiales
- No se consigue una buena precisión de posicionamiento
- Se usa en aplicaciones del tipo todo-nada (apertura o cierre de pinzas)
- Se debe tener un sistema neumático: Compresor, tuberías (distribución), filtros, secadores, etc.



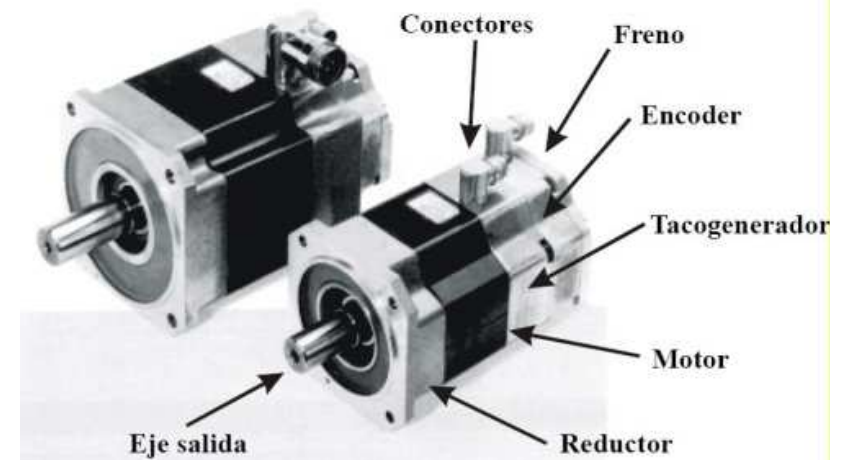
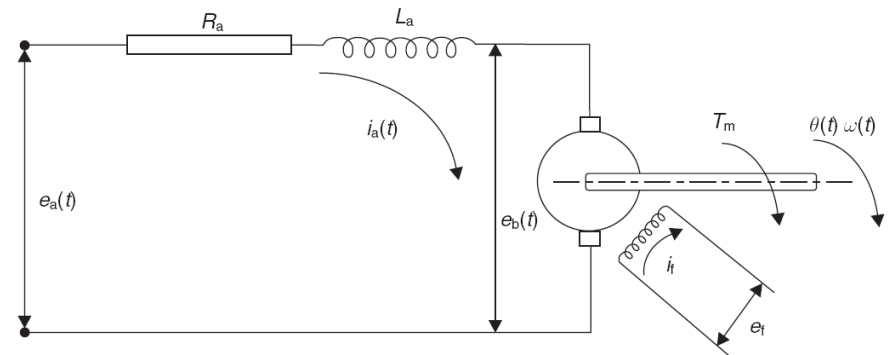
# Actuadores Hidráulicos

- Usan aceites minerales.
- Presiones de 50 a 100Bar
- Se tiene una mayor precisión en el posicionamiento.
- Permite manipular grandes pares.



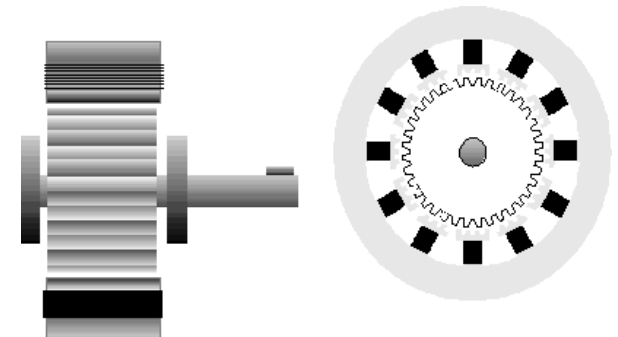
# Motores de DC

- Son los más usados en robótica (enconder)
- Esta constituido por 2 devanados (inductor e inducido)
- Inductor – Excitación, estator, fijo
- Inducido – Gira. Toma la energía de unas escobillas de grafito.
- Velocidades de 1000 a 3000 rpm
- Requiere mantenimiento en las escobillas
- No permite mantener el par constante cuando se para el motor
- Motores sin escobillas: Rotor- Imanes
- Estator – Devanando



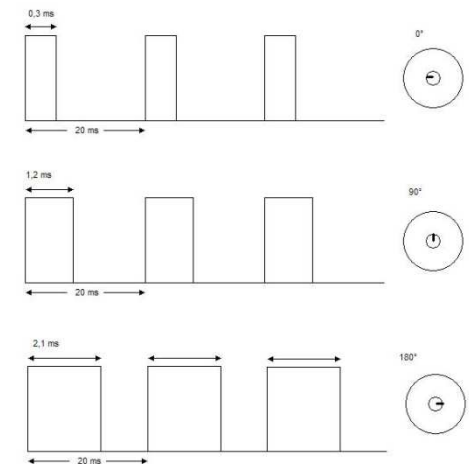
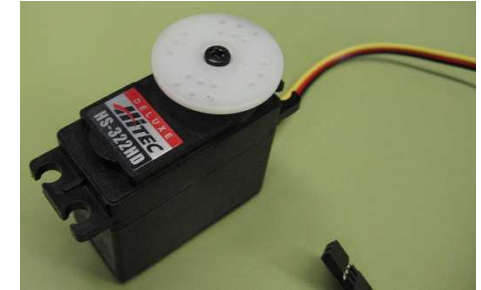
# Motores paso a paso

- Tienen poco par comparados con los de DC.
- Pasos consecutivos grandes
- Tipos de motores a pasos
- De imanes permanentes – Rotor imanes
- De reluctancia variable – Rotor material ferromagnético
- Híbridos
- Se activa el giro aplicándole una secuencia de pasos.
- Puede girar en forma continua, con velocidad variable y son fáciles de controlar. Paso de  $1.8^\circ$ .



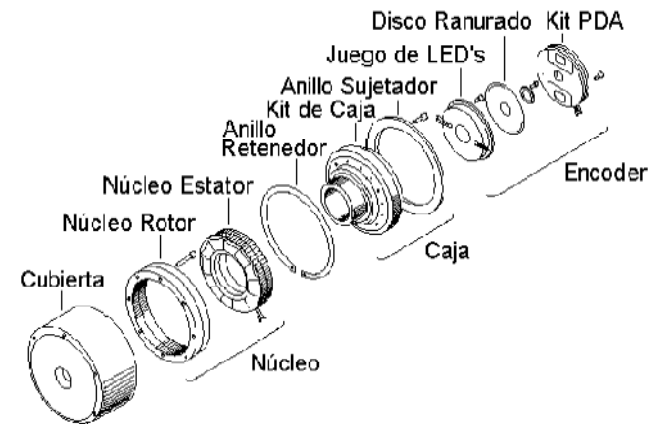
# Servomecanismos

- Un servomecanismo es un dispositivo similar a un motor de corriente continua.
- Tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación y mantenerse en esa posición.
- Las partes que lo forman son: Motor de DC, Caja reductora y Circuito de control.
- La posición se le indica con una señal cuadrada.
- El ángulo de ubicación es función del ancho del pulso.
- Para el servo marca Futaba, modelo S3003, puede girar de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , con un ancho de pulso entre 0.3ms a 2.1ms.



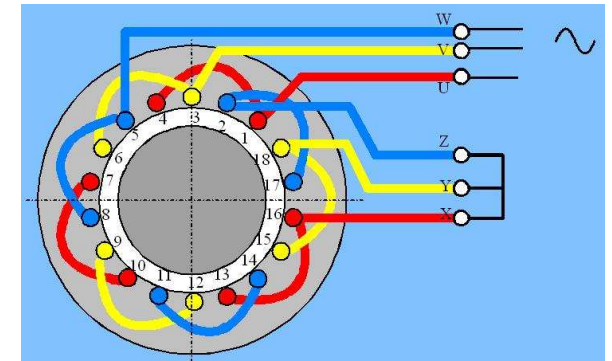
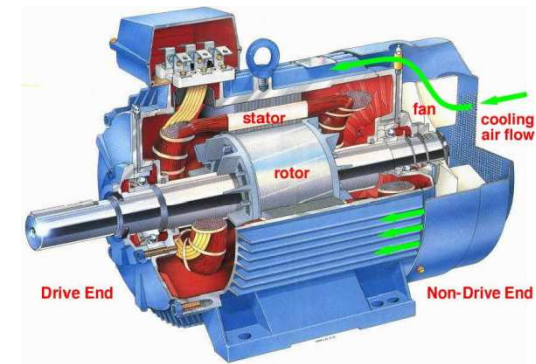
# Acondicionamiento directo (Direct Drive)

- El eje del actuador se conecta directamente a la carga.
- Permite que el robot trabaje a una gran precisión y velocidad alta.
- Simplifica el sistema mecánico
- Aumenta las posibilidades de ser controlado
- Posee codificadores de posición internas
- Tecnologías: Motor síncrono sin escobillas (brushless), Motores de inducción de reluctancia variable.

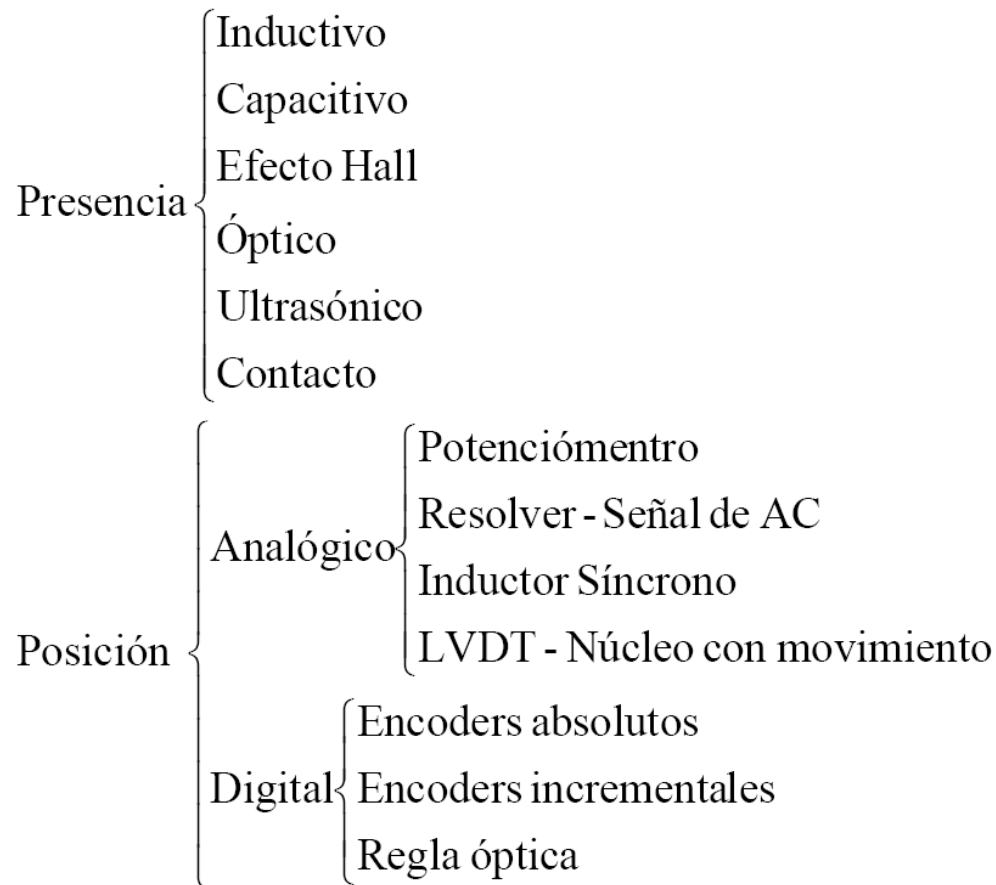


# Motor de AC (síncronos)

- Motor de velocidad constante
- Velocidad de giro es función de la frecuencia de la alimentación ( $f$ ) y el número de polos ( $P$ ).
- Motor asíncrono o jaula de ardilla.
  - Las bobinas se encuentran en el estator y se aplica un campo magnético variable y hace que el rotor gire en el sentido de  $B$ .
  - Inductor en el rotor (de imanes permanentes)
  - Inducido esta formado por 3 bobinas en el estator.



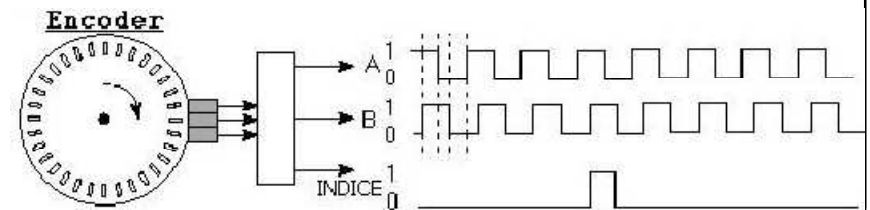
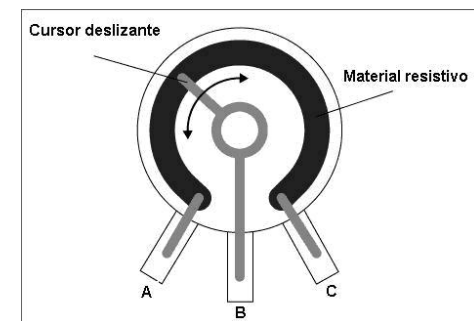
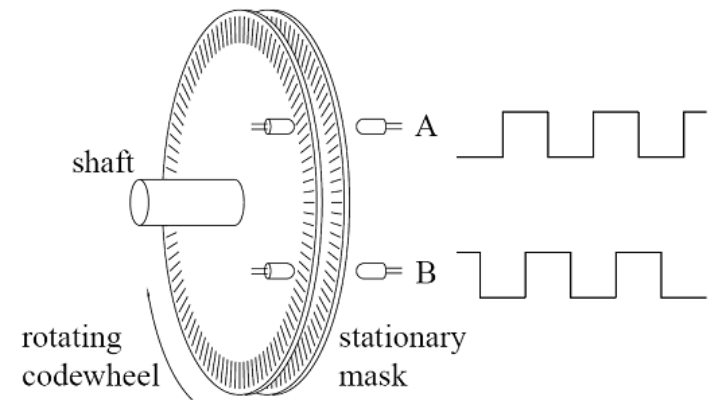
# Tipos de sensores



Velocidad { Tacogeneratriz { Voltaje (función de la velocidad)  $10mV / rpm$

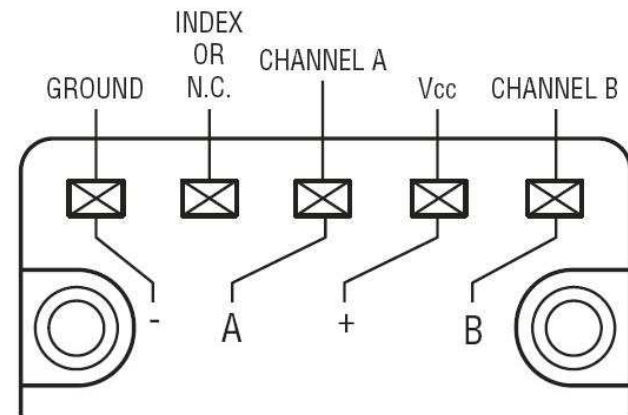
# Encoder

- Existen 2 tipos incremental y absoluto.
- La versión más simple es un disco transparente con marcas opacas colocadas Radialmente.
- Se utiliza un foto emisor y detector para captar la luz que pasa al otro extremo.
- A medida que gira forma pulsos, los cuales son proporcionales a la posición.
- Se tienen otras marcas desfasadas  $90^\circ$  para indicar el sentido de giro.
- La resolución es función del número de marcas.
- El absoluta, utiliza un patrón de marcas con código gray que proporciona un código único para alguna de las posiciones posibles.
- Su resolución es  $2^n$  y no requiere de un contador para obtener la posición.

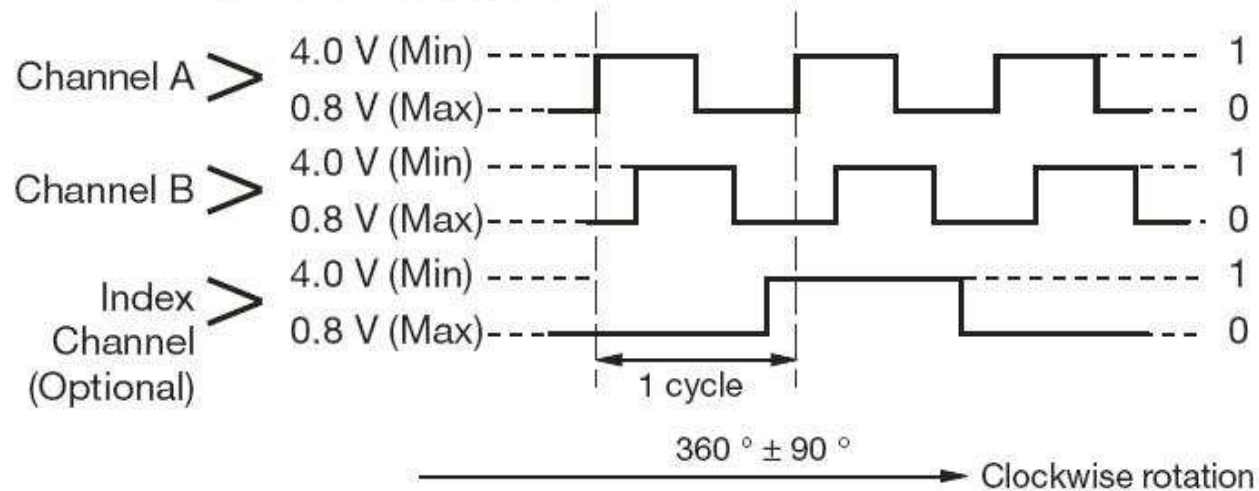


# Encoder ENA1J-B28; L00064; 0147X.

## TERMINATION DIAGRAM



## OUTPUT VOLTAGE



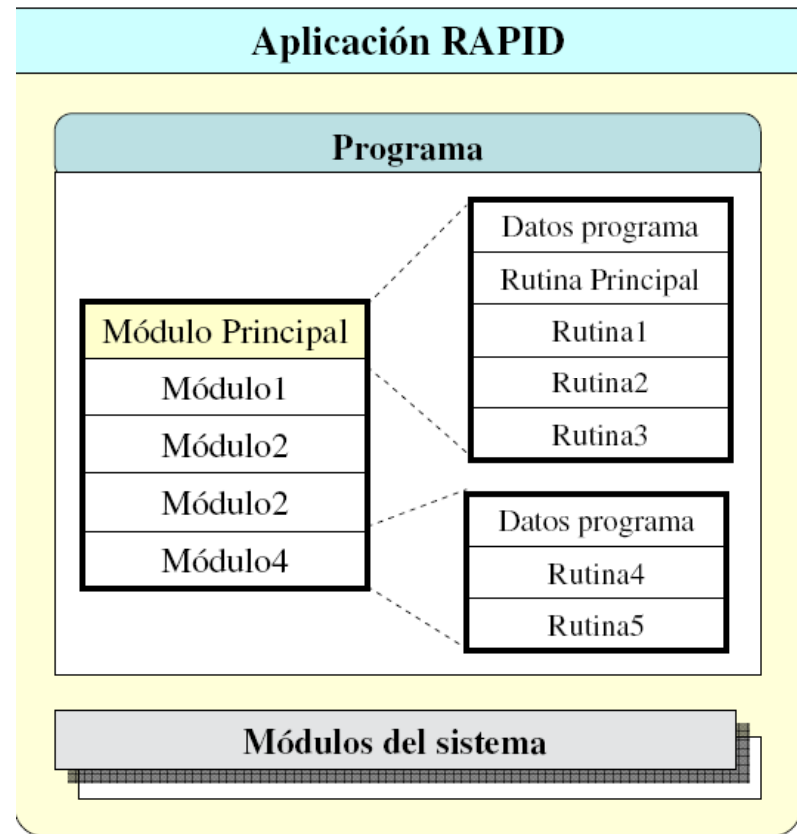
# Lenguajes de programación de Robots

- Los robots industriales usan diferentes lenguajes de programación para configurar las diferentes tareas que realiza
- Estas se pueden vaciar en forma de un archivo en su CPU
- O se puede programa con ayuda del TeachPendant
- Algunos lenguajes de programación son RAPID (Robotic Application Programming Interactiva Dialogue) para robots ABB y Karel Para robots Fanuc



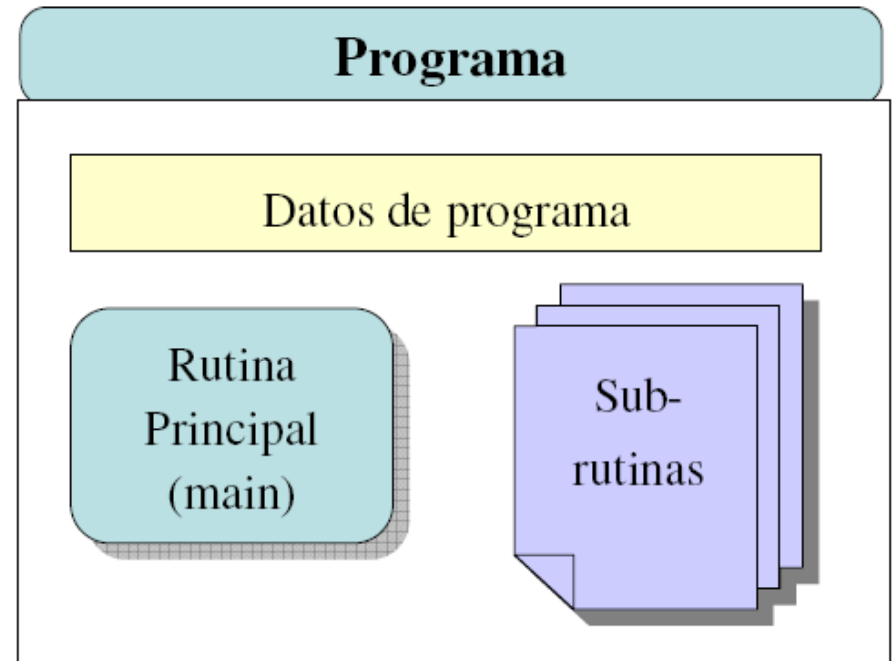
# RAPID

- RAPID es un lenguaje de programación textual de alto nivel
- desarrollado por la empresa ABB.
- Una aplicación RAPID consta de un programa y una serie de módulos del sistema.



# RAPID

- El programa es una secuencia de instrucciones que controlan el robot y en general consta de tres partes:
- Una rutina principal (main): Rutina donde se inicia la ejecución.
- Un conjunto de sub-rutinas: Sirven para dividir el programa en partes más pequeñas a fin de obtener un programa modular
- Los datos del programa: Definen posiciones, valores numéricos, sistemas de coordenadas, etc.

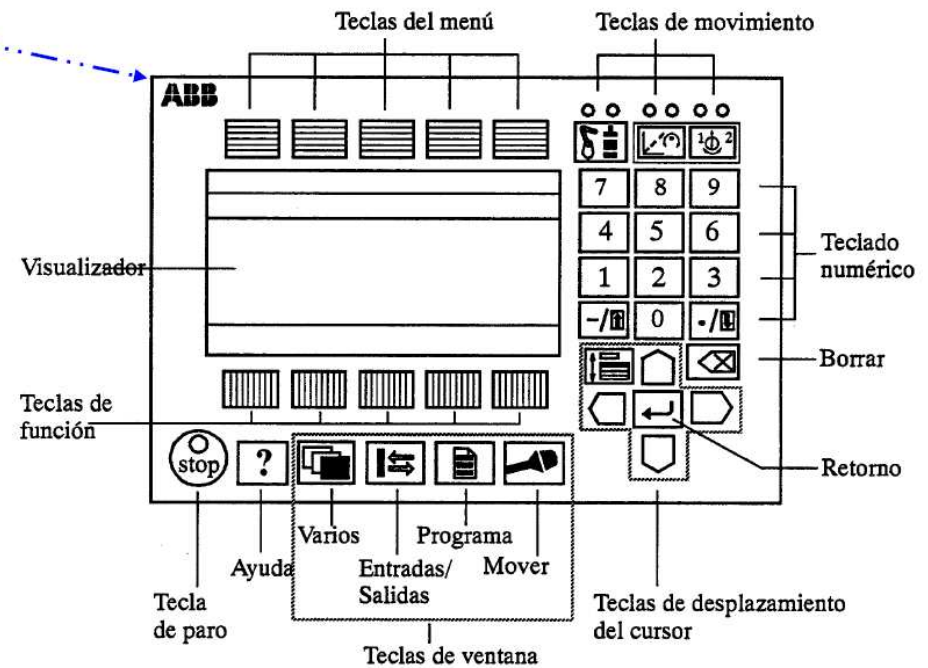
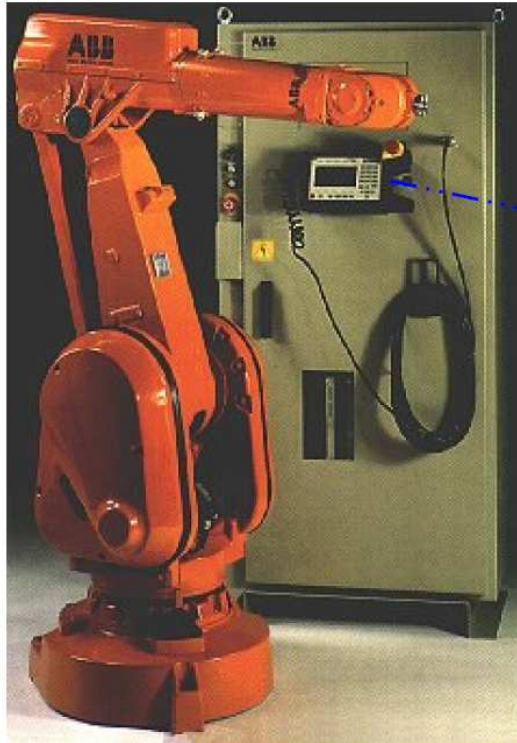


# Ejemplo de RAPID

```
PROC main()
  Ir_posicion_espera;           !Mover a posición de espera
  WHILE Dinput(terminar)=0 DO   !Esperar la señal de terminar
    IF Dinput(pieza_defectuosa)=1 THEN !Esperar la señal de pieza
                                      !defectuosa
    SetDO activar_cinta, 0;      !Parar cinta
    Coger_pieza                  !Coger la pieza
    SetDO activar_cinta, 1;      !Activar señal de cinta
    Ir_posicion_espera;         !Mover a posición de espera
  ENDIF
ENDWHILE
ENDPROC
```

# RAPID

- Entorno de programación



# RAPID ABB

## Lenguaje RAPID

- Entorno de programación: **ABB**

RAPID SyntaxChecker  
(Analizador sintáctico fuera de línea)

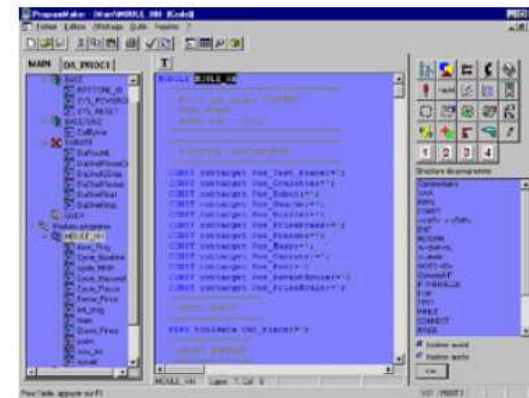
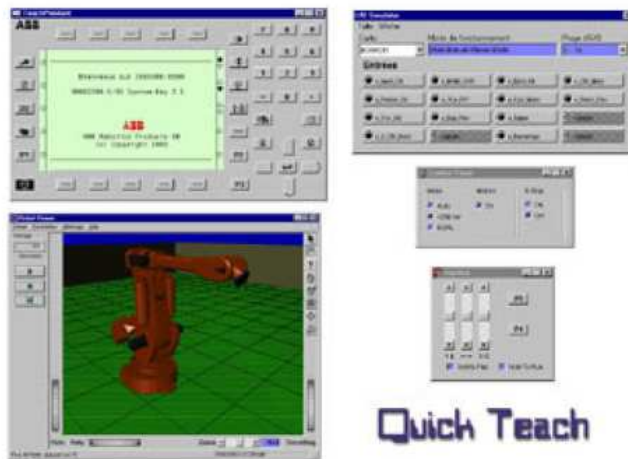
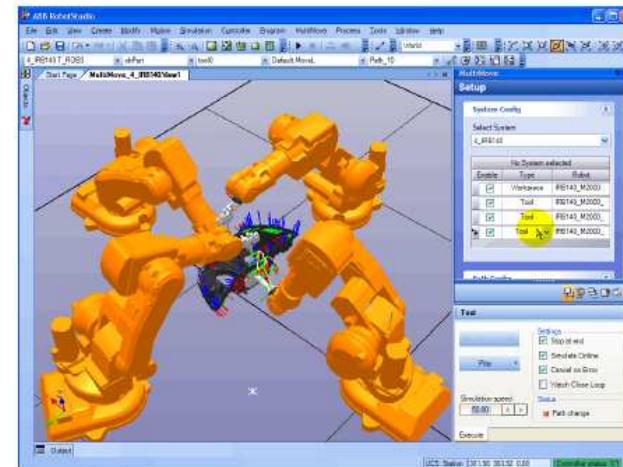


ABB Deskware



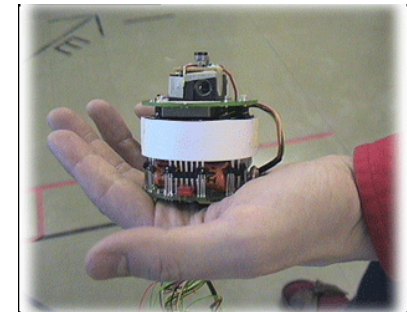
RobotStudio™ 5

# Lenguaje de Programacion Karel



# Programación de Robots

- La existencia de robots que realicen autónomamente tareas de modo eficiente depende fundamentalmente de su construcción mecánica y de su programación.
- La autonomía y la “inteligencia” residen en el programa del robot
- En el mercado existen varias plataformas de robots (Khepera, Lego, etc.)
- la programación de robots móviles suele ser más exigente que la creación de programas tradicionales



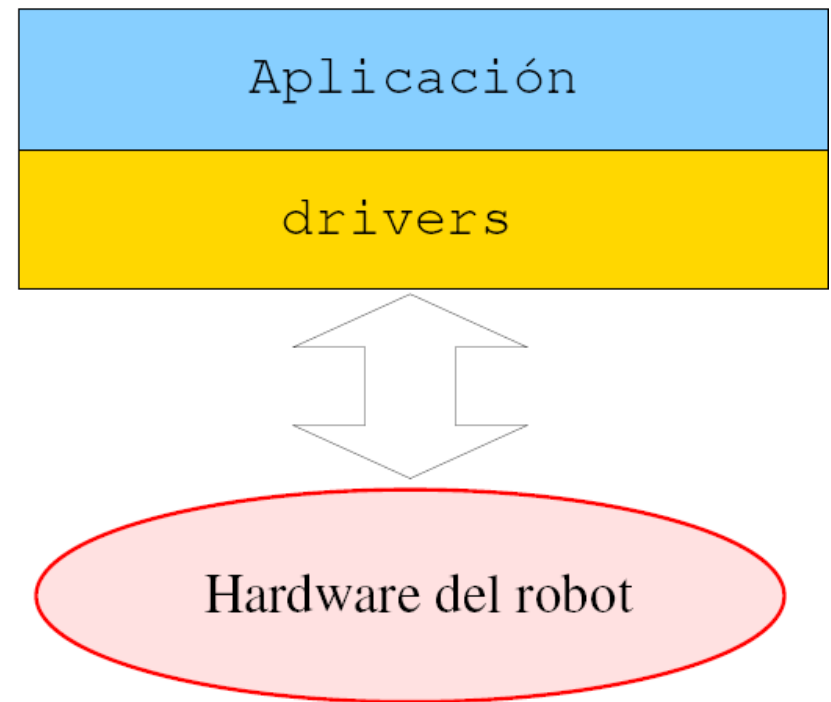
# Programación de Robots

- La programación de robots móviles es mas complicada que lo que se requiere para robots fijos.
- Los robots móviles están empotrados en la realidad física. Su programa debe ser capaz:
  - De tomar la señal de los sensores y controlar a los actuadores.
  - De tener varias actividades y objetos a la vez. Por tal motivo deben ser concurrentes.
  - Deben de proporcionar alguna interfaz para su monitores y depuración.
  - Capaces de comunicarse con otros robots
- En genera todos los programas y ambientes que hay se encuentra a nivel de investigación y desarrollo



# Programación Secuencial de Robots

- La programación se realiza conectando directamente a los drivers
- El sistema operativo es mínimo o no tiene
- En general el programa de aplicación lee los sensores, escribe los ordenes a los actuadores



# Robot Pioneer

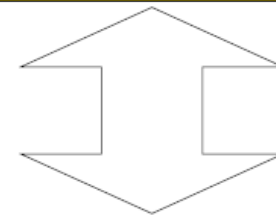


Aplicación C++

ARIA

Linux / MS-Windows

P2OS / AROS



motores ruedas    laser  
sónares            pantilt