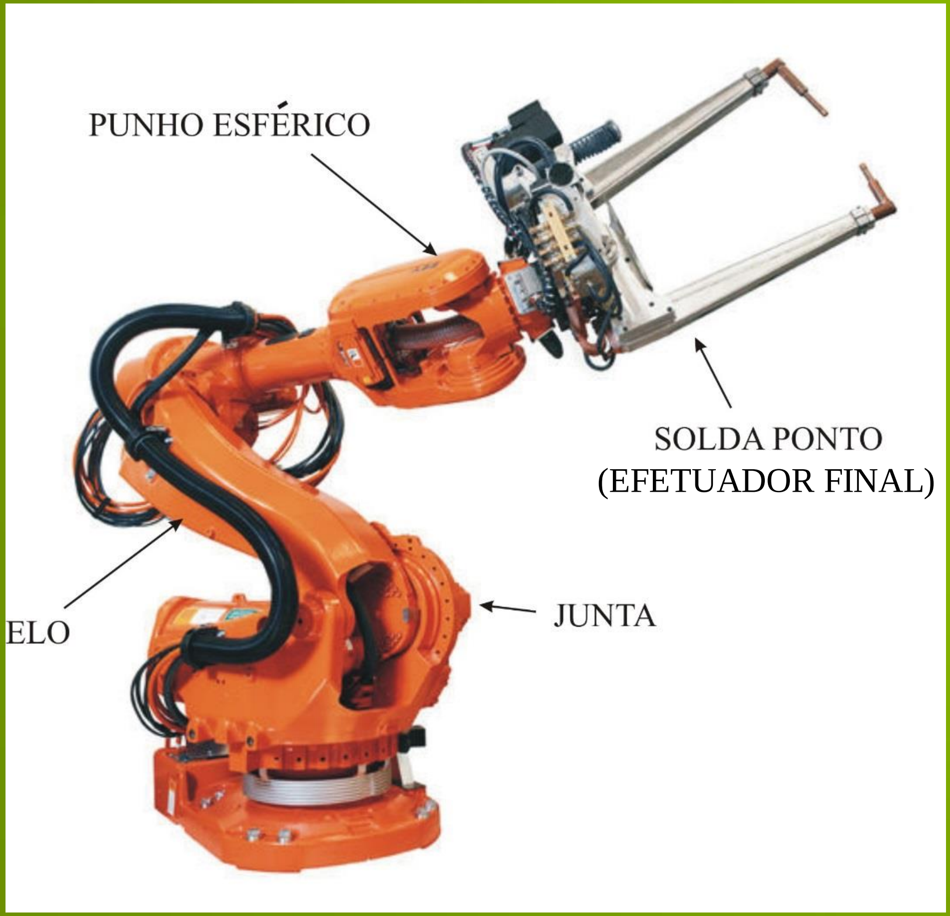
FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA

FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA

- Tipos y aplicaciones de robots manipuladores
- Componentes de robots manipuladores
- Problemas en la utilización de robots
- Modelamiento (cinemática y dinámica)
- Control

Tipos y aplicaciones de robots manipuladores

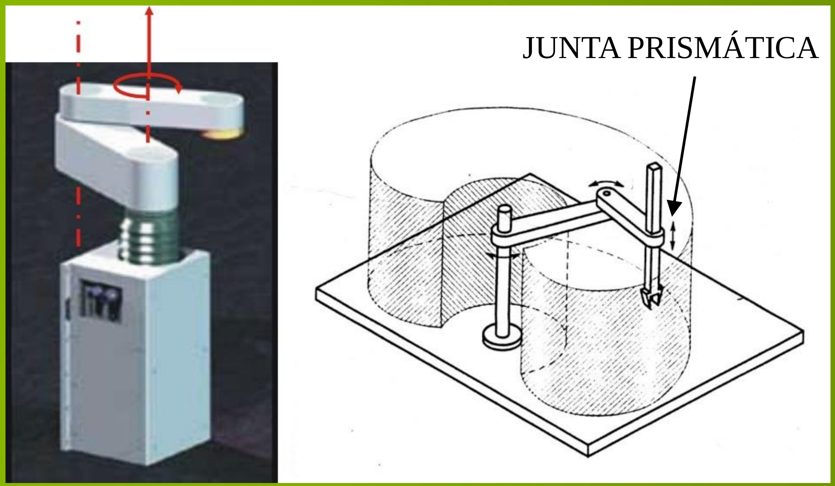
- Nomenclatura de las partes mecánicas de un robot serial



• Un robot es llamado serial o en cadena cinemática abierta cuando hay solamente una secuencia de elos conectando los finales de la cadena;
• Las vinculaciones entre los eslabones pueden ser hechas con juntas de revolución o prismática y cada una suministra un grado de movilidad;
• Los grados de movilidad deben ser adecuadamente distribuídos en la estructura mecánica para dar los grados de libertad para ejecutar una tarea;
• Son necesarios 3 grados de libertad para posicionar un objeto en el espacio tridimensional y otros 3 grados de libertad para orientarlo.

Tipos e aplicaciones de robots manipuladores

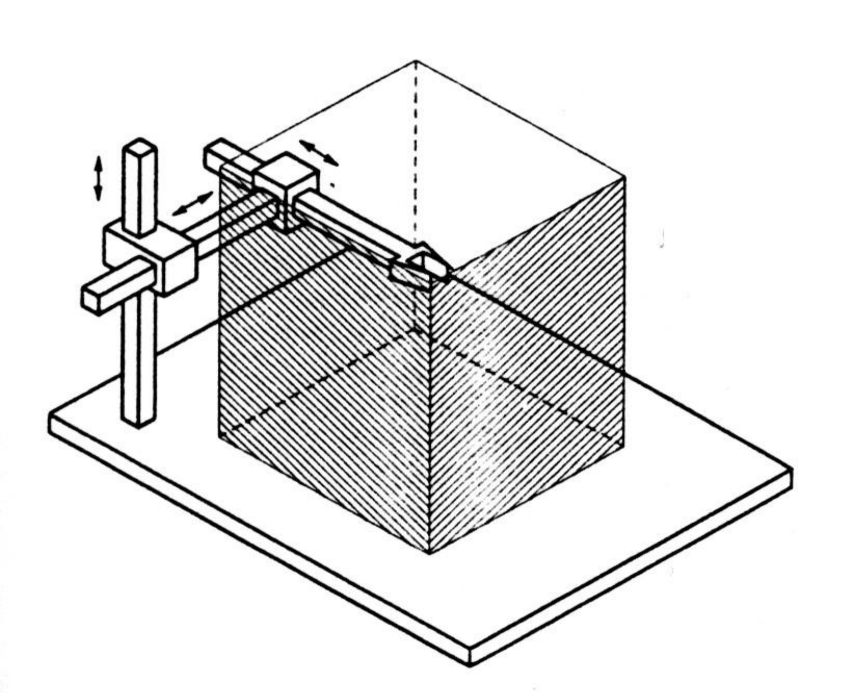
Manipulador Serial Antropomórfico
Pintura

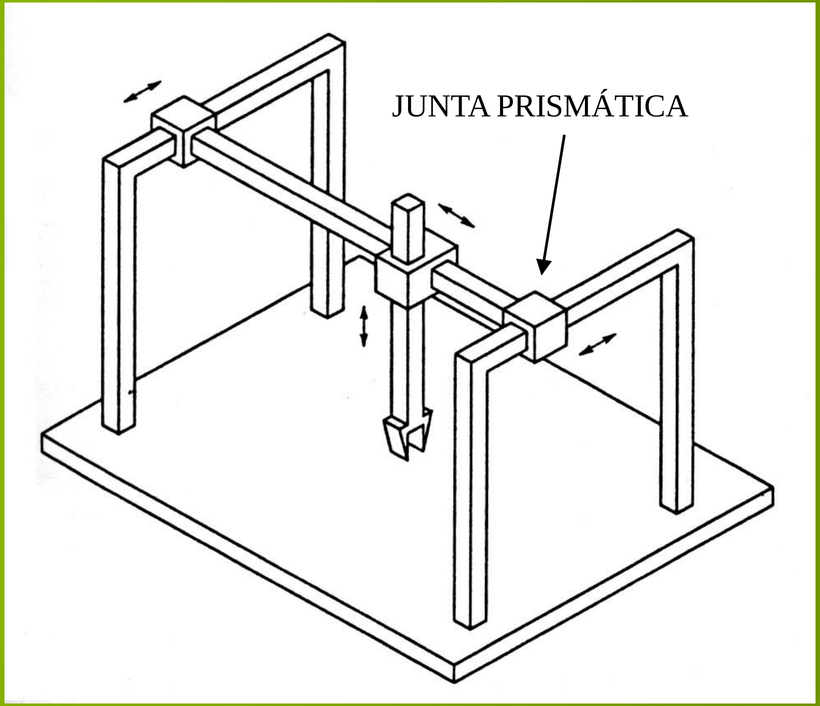


Manipulador Serial SCARA
Manipulación de piezas

- El espacio de trabajo representa la porción del ambiente que el efectuador final es capaz de alcanzar

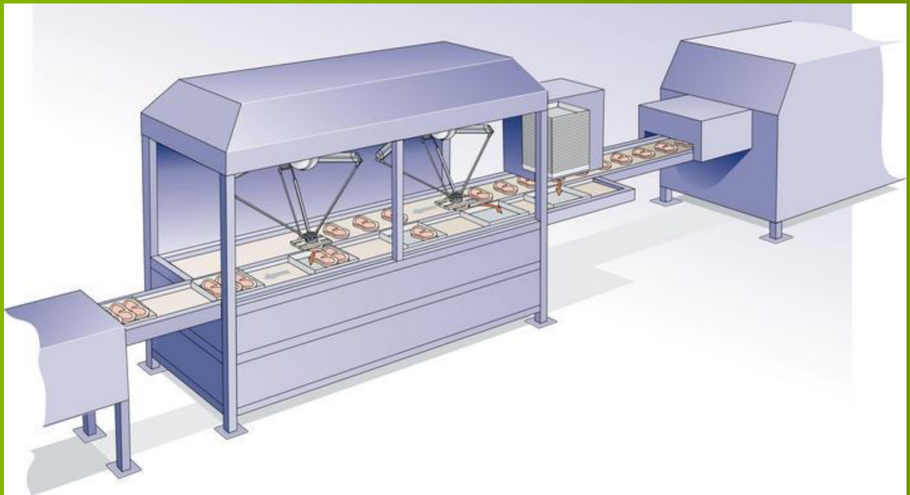
Tipos y aplicaciones de robots manipuladores





Manipulador Serial Cartesiano
Manipulación de piezas

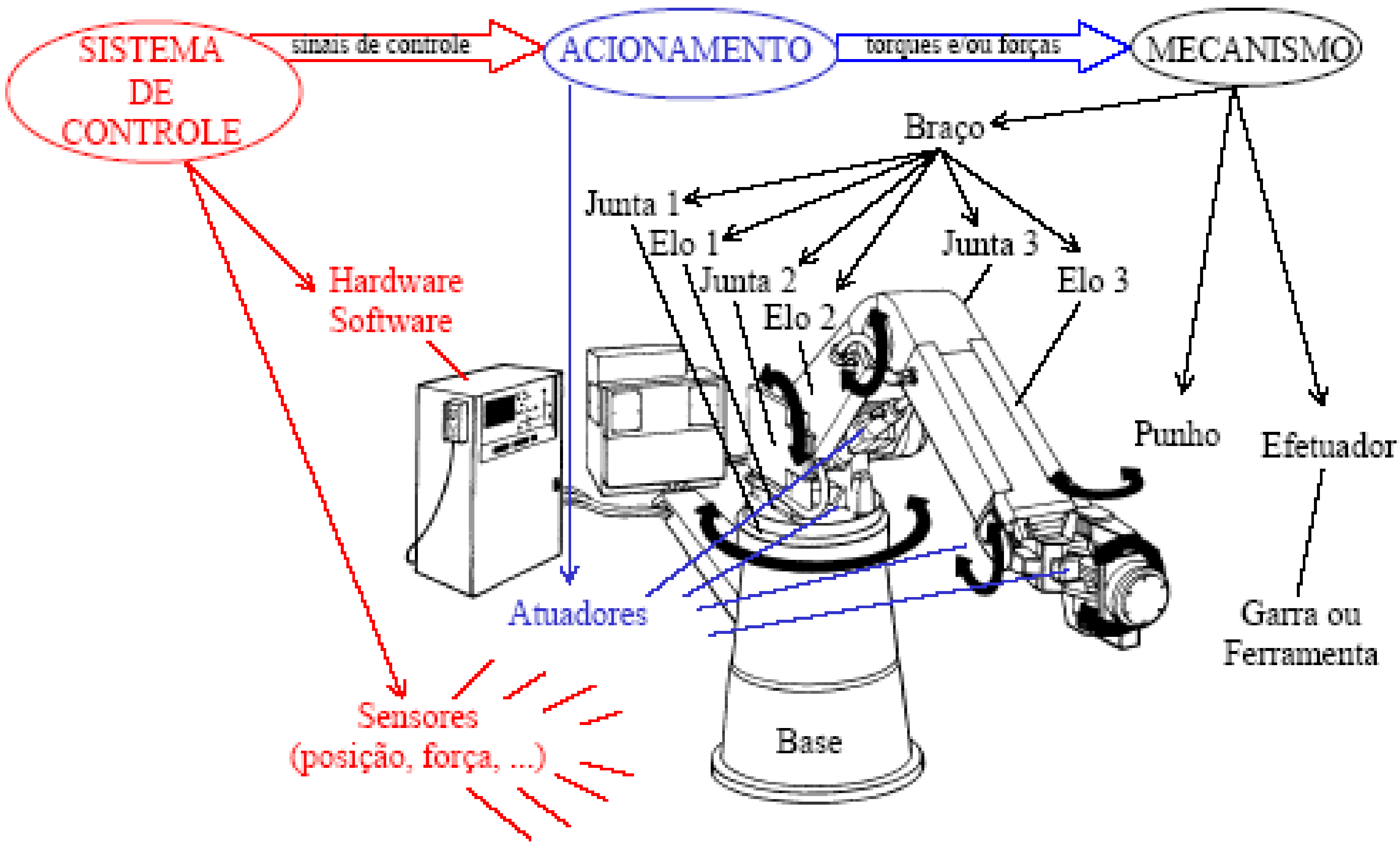
Tipos y aplicaciones de robots manipuladores



Manipulador Paralelo o de cadena cinemática cerrada
ABB
Manipulación de piezas y almacenaje

Ventajas en relación al robot serial: mayor rigidez y precisión, mayor capacidad de carga, mayores velocidades

Componentes de robots manipuladores



Componentes de robots manipuladores

- Accionamiento: motores eléctricos con reductores, accionamientos hidráulicos y neumáticos;
- Sensores: Encoder (angulares para medición de ángulos en las juntas de revolución o lineales para desplazamientos en juntas de translación), Tacómetro (medición de velocidad), Strain gage (medición de fuerza);
- Sistema de Control: Controlador digital con circuito electrónico capaz de adquirir las señales medidas por los sensores y calcular señales adecuadas para accionar el mecanismo y producir los movimientos programados con los menores errores posibles.

Problemas en la utilización de robots

- Video
- Programación de la linea de producción
  1. Linea de producción parada;
  2. Programación individual de cada robot;
  3. Tests, ajustes y retomada de producción.

  (Mucho tiempo para el reinício de operación)
- Programación off-line
  1. Programación virtual de la línea;
  2. Parada de la linea de producción;
  3. Implementación de los programas;
  4. Tests, ajustes y retomada de producción.

  (Tiempo pequeño de preparación)

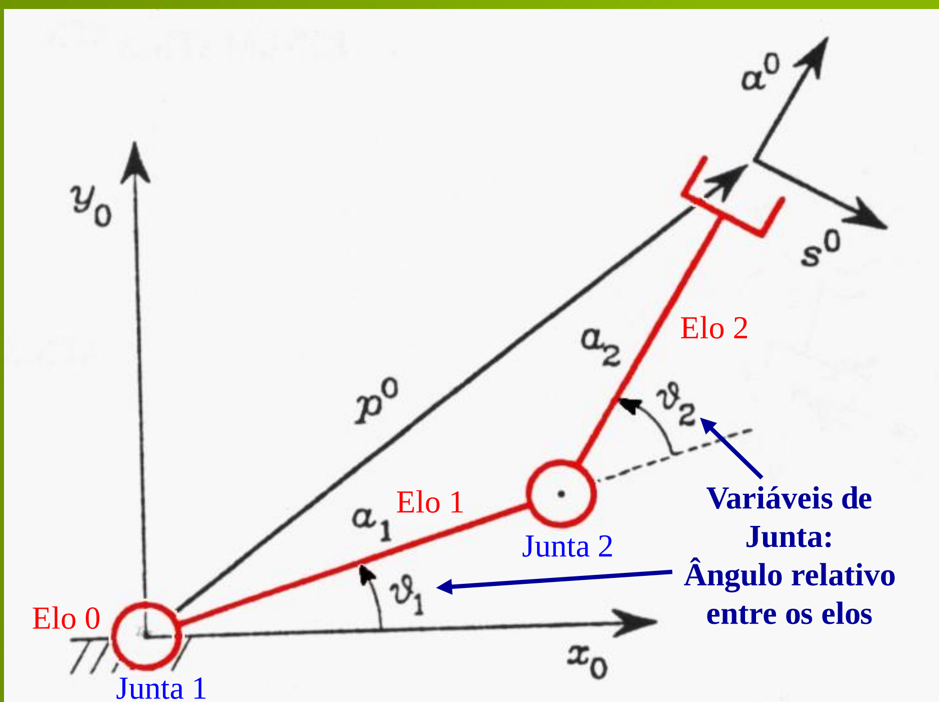
Problemas en la utilización de robots

- Programación off-line (requisitos)
  1. Modelamento del robot (cinemática y dinámica);
  2. Modelamento de la línea de producción;
  3. Línea de producción virtual;
  4. Programación y simulación de movimientos en ambiente virtual;
  5. Tests y ajustes para aumentar el desempeño.

Modelado

- Cinemática

1. Cinemática Directa de Posición



Manipulador planar de 2 grados de libertad

- La cinemática directa de posición determina la posición y la orientación como función de las variables de junta;
- Las expresiones de posición y orientación son basadas en la teoria de álgebra lineal;
- La posición y orientación del efectuador final en relación a un sistema de coordenadas en el origem es expresa a través de una Matriz de Transformación Homogénea:

$$T^0(q) = \begin{bmatrix} n^0 & s^0 & a^0 & p^0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a^0 es un vector unitario definido en dirección de aproximación

s^0 es un vector unitario ortogonal al vector a^0 na dirección de abertura da mandíbula da garra

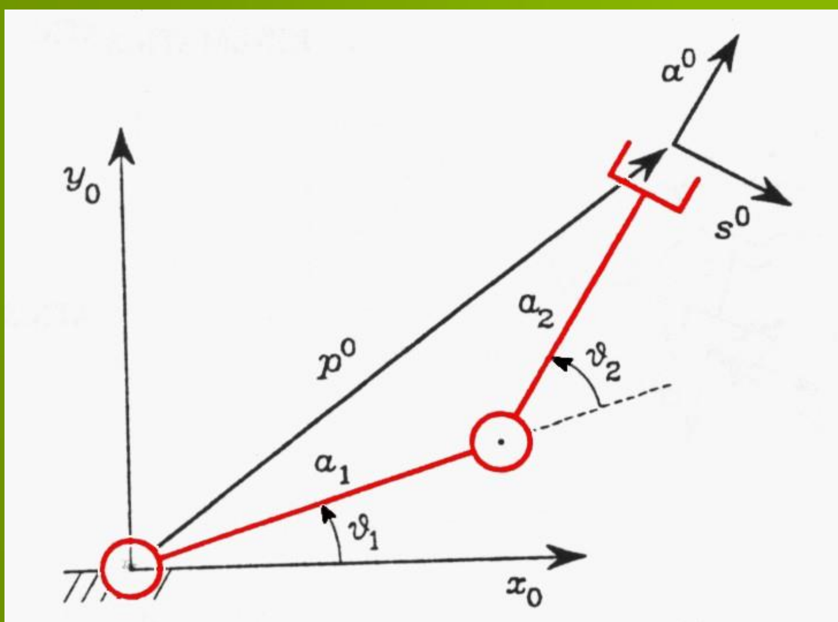
n^0 é um vetor unitário ortogonal aos vetores a^0 e s^0

p^0 é um vetor de posição definido da origem do sistema de referência até a origem do sistema de coordenadas do efetuador final (a^0, s^0, n^0);

Modelado

- Cinemática

1. Cinemática Directa de Posición



Manipulador planar de 2 graus de liberdade

- Para el caso del manipulador planar de 2 grados de libertad, la Matriz de Transformación Homogénea es:

$$T^0(q) = \begin{bmatrix} n^0 & s^0 & a^0 & p^0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & s_{12} & c_{12} & a_1c_1 + a_2c_{12} \\ 0 & -c_{12} & s_{12} & a_1s_1 + a_2s_{12} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

donde:

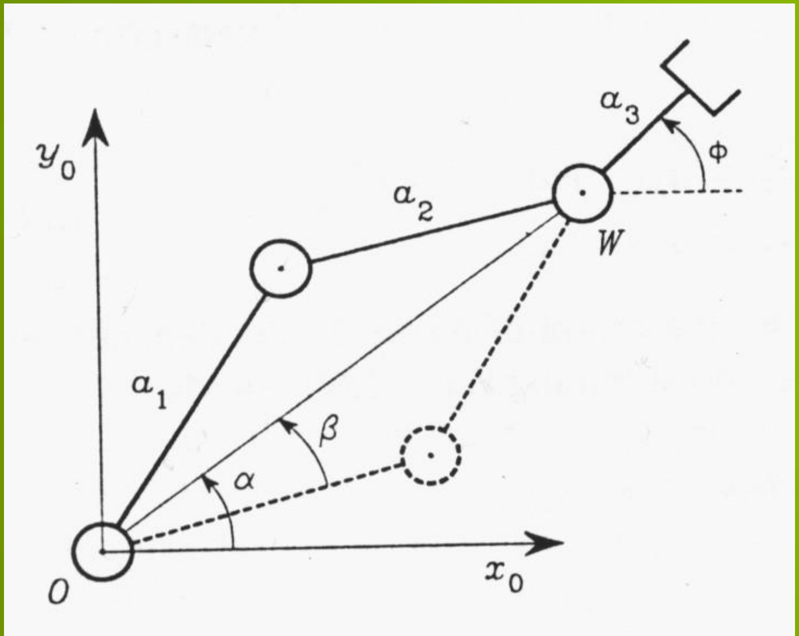
$$s_1 = \sin(\vartheta_1) \qquad c_1 = \cos(\vartheta_1)$$
$$s_{12} = \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2) \qquad c_{12} = \cos(\vartheta_1 + \vartheta_2)$$

- Una construcción adecuada de la Matriz de Transformación Homogénea puede ser obtenida por la aplicación del Método de Denavit-Hartenberg

Modelado

- Cinemática

  1. Cinemática Inversa de Posición



Manipulador planar de 2 eslabones

- El problema de la cinemática inversa consiste en determinar un conjunto de variables de junta que corresponden a una dada posición y orientación del efectuador final;
- Para el caso del manipulador planar de 2 eslabones, la cinemática inversa obtiene los ángulos relativos de los eslabones para que el efectuador final se mueva sobre una recta con orientación definida, por ejemplo;
- Es un problema mas complejo que la cinemática directa:

1. No siempre hay una solución;
2. Puede haber muchas soluciones;
3. Si el manipulador fuera redundante, puede haber infinitas soluciones;
4. Algunas soluciones pueden no ser adecuadas debido a las características constructivas del robot.

Modelado

- Cinemática Diferencial

- La cinemática diferencial da la relación entre las velocidades en las juntas y las velocidades en el actuador final:

$$v = J(q)\dot{q}$$

donde

v es un vector de velocidad del movimiento realizado por el actuador final;

$J(q)$ es una matriz que es uma función no-lineal de las variables de junta;

$\dot{q}$ es un vector de velocidades en las juntas del manipulador

- La matriz $J(q)$ es llamada Jacobiano y es dependiente de la configuración del robot;
- Esta matriz es muy importante porque permite la determinación de singularidades del robot, analizar redundancia, determinar la cinemática inversa de velocidades, relacionar fuerzas en el actuador final con los torques aplicados en las juntas y es aplicada em el modelo dinámico de robots.

Modelado

- Singularidad

- Un robot manipulador presenta una configuración singular cuando el Jacobiano posee lineas que son linealmente dependientes.
- Se llama SINGULARIDAD LIMITE cuando el manipulador está completamente distendido o retraído.
- Se llama SINGULARIDAD INTERNA cuando ocurre el alineamiento de dos o mas ejes de los sistemas de coordenadas, tornando las lineas del Jacobiano linealmente dependientes. Este tipo de singularidad puede ocurrir en cualquier posición del actuador final.
- Es importante conocer las configuraciones singulares del robot por las siguientes razones:

1. Causa pérdida de movilidad del robot;
2. Cuando el robot está en una configuración singular, pueden existir infinitas soluciones para la cinemática inversa;
3. Cuando el manipulador se aproxima a una configuración singular, una pequeña velocidad del actuador final provoca grandes velocidades en el accionamiento del robot..

Modelado

- Redundancia

- Un robot manipulador es llamado de REDUNDANTE cuando el número de grados de movilidad del mecanismo es mayor que el número de variables que son necesarias para realizar una tarea.
- Este concepto es relativo, pues un mismo robot puede ser redundante para ejecutar una tarea y no ser redundante para ejecutar otra;
- Un robot que presenta redundancia posee mayor versatilidad de movimientos;
- El Jacobiano de un manipulador redundante presenta un número mayor de columnas que de líneas (el Jacobiano deja de ser una matriz cuadrada y no puede más ser invertida). Para resolver el problema se usa un método de los Multiplicadores de Lagrange.

Modelado

- Dinámica

- El modelo dinámico del manipulador es de extrema importancia para la simulación de movimientos, análisis mecánico de la estructura, proyecto de los algoritmos de control y programar movimientos sin usar un sistema físico;
- Por el análisis del modelo dinámico es posíble determinar la resistencia mecánica de los componentes y los torques y fuerzass que deben ser producidos por el accionamiento / transmisión;
- Métodos de elaboración de modelos: Lagrange e Newton-Euler;
- Identificación de parámetros del modelo matemático;

Modelado

- Dinámica – Método de Lagrange

- El modelo dinámico del manipulador provee una descripción de las relaciones entre los torques en las juntas realizado por los actuadores y el movimiento realizado por el mecanismo del robot;
- El modelo dinámico define una ecuación del movimiento;
- Siendo escogido el conjunto de variables (λ_i, i = 1, ... , n variables) llamado de coordenadas generalizadas, que describen la posición de los eslabones del manipulador de n grados de movilidad, el Lagrangeano del sistema mecánico puede ser definido como función de estas coordenadas generalizadas y es

$$L = T - U$$

donde

L es el Lagrangeano;

T es la energia cinética del sistema;

U es la energia potencial del sistema.

Modelado

- Dinámica – Método de Lagrange

- La ecuación de Lagrange es dada por

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\lambda}_i} - \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \xi_i$$

La derivada en relación al tiempo 1

la derivada parcial del Lagrangeano 2

en relación a cada velocidad *i* 3

menos 4

la derivada parcial del Lagrangeano 5

en relación a cada posición *i* 6

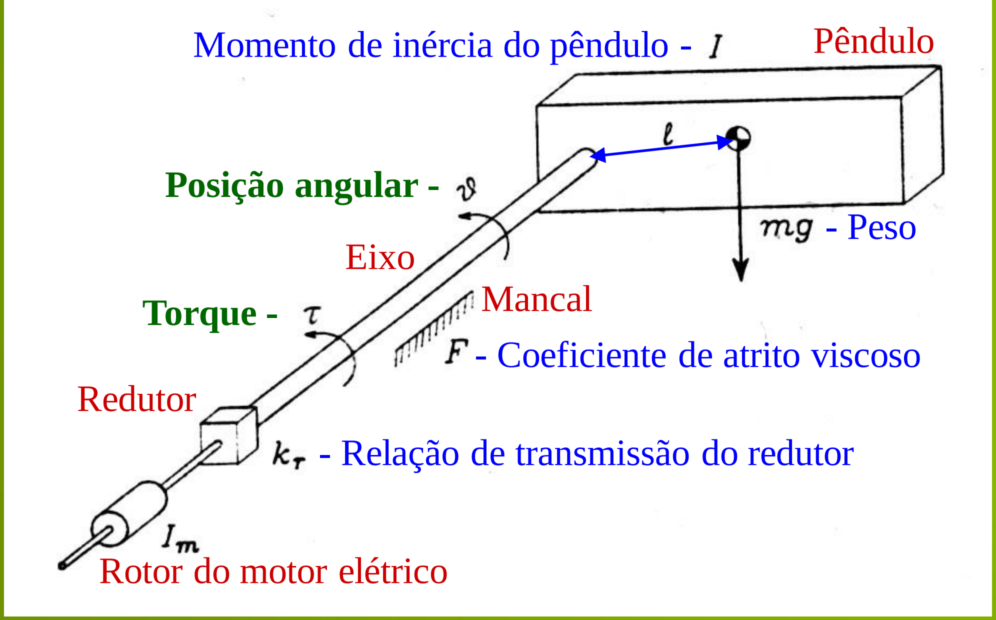
es igual 7

a cada fuerza generalizada *i* de accionamiento 8

Modelado

- Dinámica – Método de Lagrange

- Ejemplo: Péndulo accionado por un motor eléctrico con reductor



Lagrangeano:

$$L = T - U$$

Energia cinética:

$$T = \frac{1}{2} I \dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2} I_m k_r^{\,2} \dot{\vartheta}^2$$

Energia potencial:

$$U = mgl(1 - \cos\vartheta)$$

Lagrangeano:

$$L = \frac{1}{2} I \dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2} I_m k_r^{\,2} \dot{\vartheta}^2 - mgl(1 - \cos\vartheta)$$

Modelado

- Dinámica – Método de Lagrange - Exemplo

- La ecuación de Lagrange es dada por
$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\vartheta}} - \frac{\partial L}{\partial \vartheta} = \xi$$

- El torque en el eje
$$\xi = \tau - F\dot{\vartheta}$$

- Primer término de la ecuación de Lagrange
$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{\vartheta}} = \frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial \dot{\vartheta}}\left[\frac{1}{2}I\dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2}I_m k_r{}^2\dot{\vartheta}^2 - mgl(1-\cos\vartheta)\right]\right]$$

- Segundo término de la ecuación de Lagrange
$$\frac{\partial L}{\partial \vartheta} = \frac{\partial}{\partial \vartheta}\left[\frac{1}{2}I\dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2}I_m k_r{}^2\dot{\vartheta}^2 - mgl(1-\cos\vartheta)\right]$$

- La dinámica del péndulo es
$$\left(I + I_m k_r{}^2\right)\ddot{\vartheta} + F\dot{\vartheta} + mgl\sin\vartheta = \tau$$

Modelado

- Dinámica – Método de Lagrange - Exemplo

- La dinámica del péndulo es

$$\left(I + I_m k_r^{\,2}\right)\ddot{\vartheta} + F\dot{\vartheta} + mgl\sin\vartheta = \tau$$

- Escribiendo de otra forma

$$\left(I + I_m k_r^{\,2}\right)\ddot{\vartheta} = \tau - F\dot{\vartheta} - mgl\sin\vartheta$$

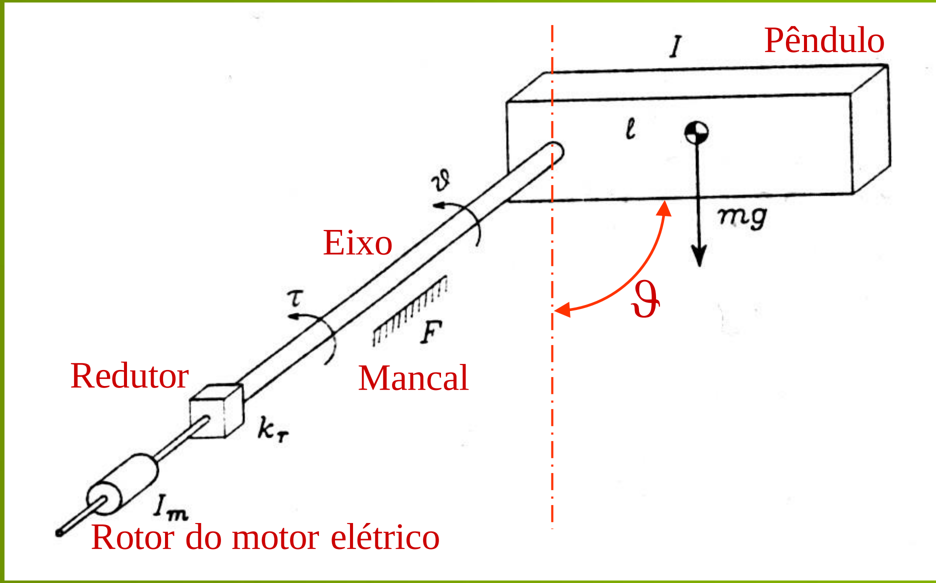
- Segunda Ley de Newton

$J\ddot{\vartheta}$ torque inercial $= \tau$ $-F_A$ torque de rozamiento $-G$ torque gravitacional

$$J\ddot{\vartheta} = \sum W$$

Modelamento

- Dinámica – Interpretación



- La dinámica del péndulo es

$$0 = 0 \quad 0 - mgl \sin\vartheta$$

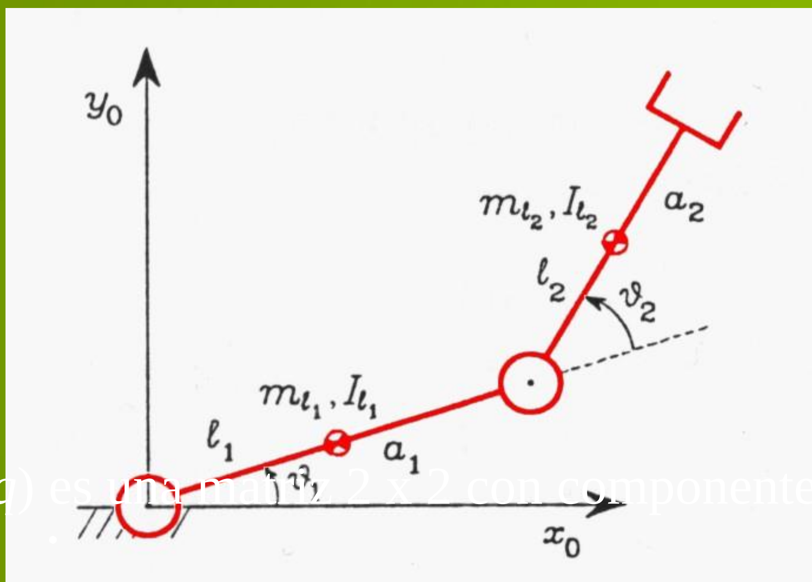
$$0 = 0 \quad 0 \quad -G$$

torque inercial | torque de rozamie nto | torque gravitacional

1. Torque nulo;
2. Torque para velocidad constante;
3. Torque de posicionamiento en ángulo.

Modelado

- Dinámica – Robot planar de 2 elos



- La dinámica del manipulador es

$$B(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) + F_A = \tau$$

donde

$$q = \begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} \quad \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{\vartheta}_1 \\ \dot{\vartheta}_2 \end{bmatrix} \quad \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{\vartheta}_1 \\ \ddot{\vartheta}_2 \end{bmatrix}$$

$B(q)$ es una matriz 2 x 2 con componentes de torques inerciales que son funciones de q;

$C(q,\dot{q})$ es una matriz 2 x 2 con componentes de torques de coriolis y centrífugos que son funciones de q e $\dot{q}$;

$G(q)$ es un vector con componentes de torques gravitacionales que son funciones de q;

F_A es un vetor de torques de atrito

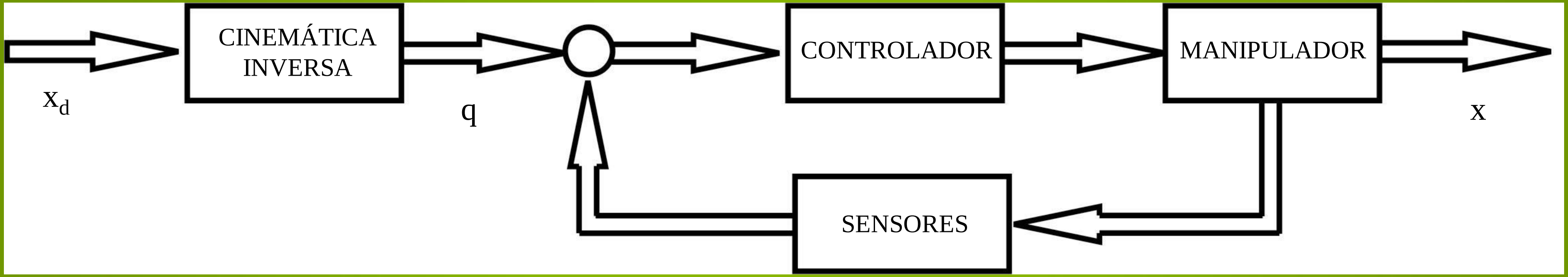
τ es un vector de torques de accionamiento.

Control

- El problema de controlar un robot hidráulico consiste en determinar las fuerzas y torques generalizados para ser aplicados en las juntas por los actuadores y garantir la acción de comandos satisfaciendo los requisitos de transitorio y de régimen permanente;
- El control cuando el efectuador final interactúa con el medio (usinage) es mas complejo que cuando solamente realiza movimentos sin interacción (solda MIG);
- Control en el ESPACIO DE LAS JUNTAS (el control es realizado directamente en las variables de junta)
- Control en el ESPACIO OPERACIONAL (las variables controladas son las coordenadas espaciales de posicionamento del efectuador final)

Control

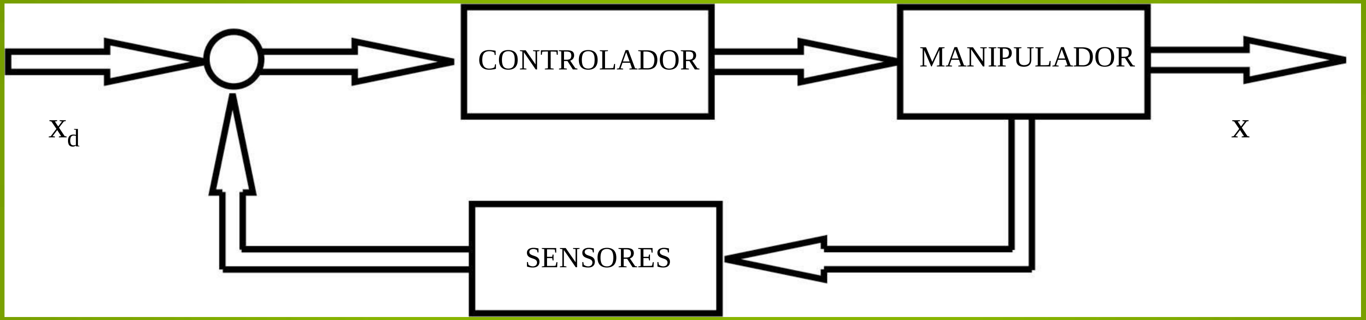
- Control en el Espacio de las Juntas



- La especificación de coordenadas emn el espacio operacional x_d puede ser usada incluyendo la cinemática inversa y calculando las variables de junta q;
- Las variables en el espacio operacional son controladas en malla abierta. Cualquier problema constructivo en el mecanismo, problemas de calibración, folgas en acoplamentos o transmisiones provocan errores de posicionamiento;
- Es mas simple que el control en el espacio operacional.

Control

- Control en el Espacio Operacional



- La cinemática inversa está incluída en el algoritmo de control y presenta la ventaja conceptual de controlar directamente las variables del espacio operacional;
- Esta estrategia es la base de los esquemas de control para cuando el manipulador ejecuta tareas donde el efectuador final interactúa con el medio;
- Es mas complejo que el control en el espacio de las juntas.