



FACULTAD DE INGENIERÍA ROBOTICA II

**10mo. Semestre de la carrera
Ingeniería en Mecatrónica**



ROBOTICA II



UNIDAD 1

Introducción a la Dinámica de Robots

Ing. Roberto HAARTH

Ingeniería en Mecatrónica

Facultad de Ingeniería. UNCuyo

Mendoza. ARGENTINA

Introducción a la Dinámica de Robots

Aspectos generales a considerar



- Evolución y Tecnología
- Robótica Industrial
- Cinemática . Dinámica

- Accionamiento.
Transmisión. Reducción.

- Elementos. Adquisición
Control. Robot Industriales.

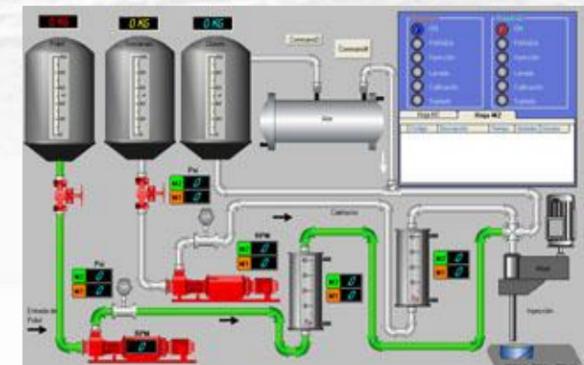
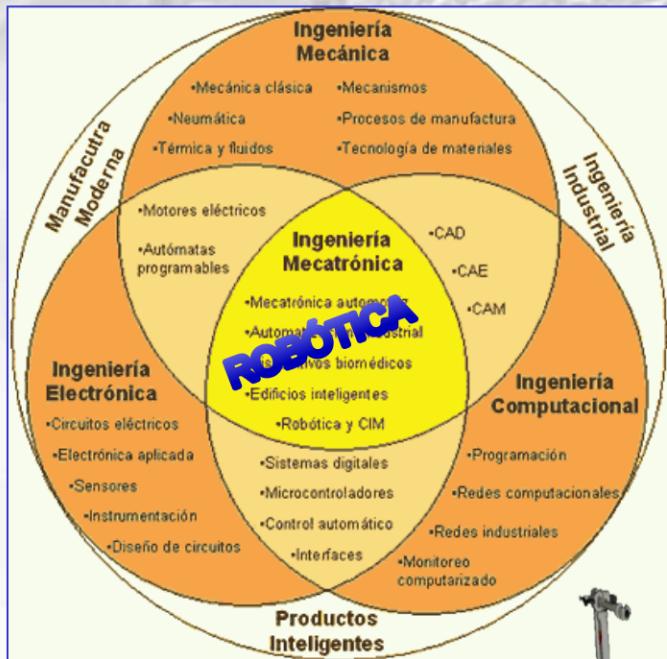
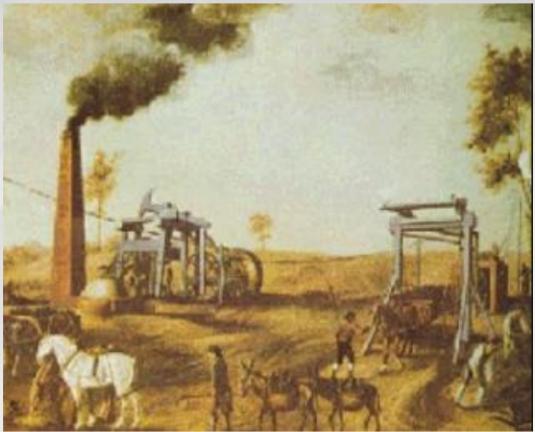
- Distribución de Masas
en eslabones

EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PASADO



PRESENTE



• TIERRA



En la Actualidad

*Comunicación
Transferencia
Real Time
Automatización
Procesos
Inteligentes
Internet
Cloud Computing
Robótica*

• MARTE



EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Las 4 Revoluciones Industriales

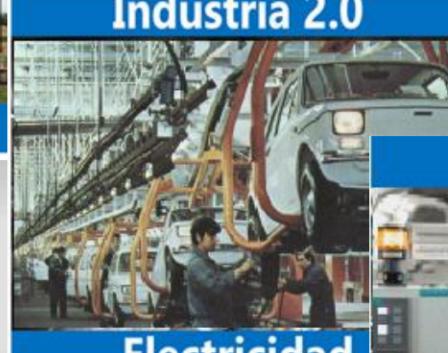
Industria 1.0



Mecanización

Siglo XVIII- XIX. Mecanización Procesos Productivos. Textiles. Máquinas Vapor. Ferrocarril. Barcos

Industria 2.0



Electricidad

Industria 3.0



Automatización

Industria 4.0



Sistemas Ciberfísicos

1850 – 1914. Producción en Series. Cadena de Montaje. Electricidad. Nuevos metales.

Siglo XX. Automatización. TICs. Energías Renovables. Nuevas formas de Energía. Smart Grid.

*Siglo XXI.
Automatización Inteligente.
Internet de las Cosas. Robótica.*



EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 4.0 . Soporte

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN

BIG DATA

ROBÓTICA



INTERNET DE LAS COSAS

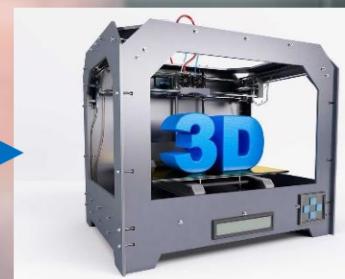
Interconexión digital con Internet



CLOUD COMPUTING

Nube de Almacenamiento

FABRICACIÓN ADITIVA



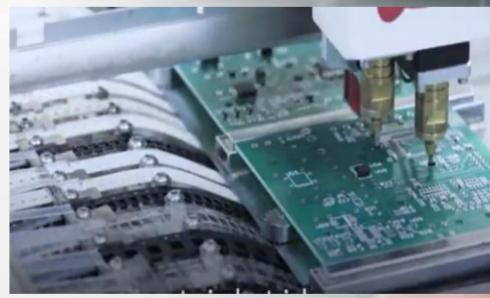
REALIDAD AUMENTADA



EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 4.0 . Beneficios

- Inspección completa de la producción
- Repetibilidad y homogeneidad
- Consistencia y objetividad
- Reducción de costos
- Evita productos defectuosos
- Calidad y Eficiencia



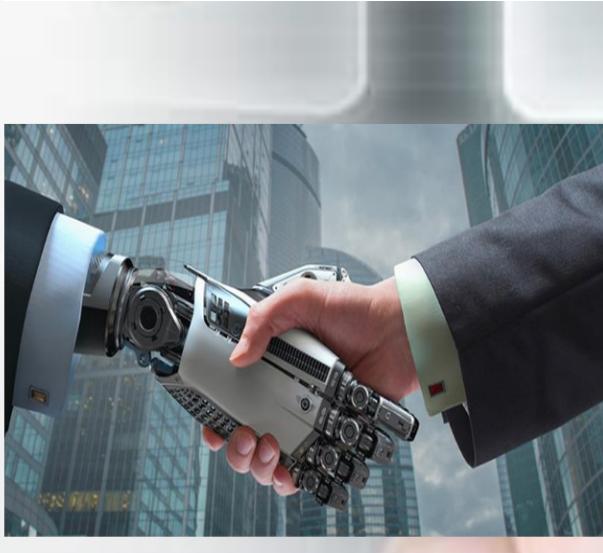
Industria 5.0 !! Nueva Revolución Tecnológica

¿Qué es la industria 5.0?

El término de "industria 5.0" fue acuñado a principios de 2021 por la Comisión Europea con el objetivo de reenfocar el desarrollo del sector hacia un modelo de producción que utilice la tecnología para ser más competitivo, pero también para generar un impacto positivo en la sociedad. 24 nov 2022



Manufacturación personalizada
Despliegue de Cobots
Rápidez y calidad



¿Qué es la industria 5.0 y cuál es su objetivo?

El objetivo de la industria 5.0 es la formación de equipos entre robots y seres humanos para desarrollar al máximo el potencial de ambos. El trabajo colaborativo dará como resultado un mayor enfoque en la creatividad humana aplicada al día a día.



Colaboración Máquinas y Humanos
Robots Colaborativos. Inteligencia Artificial



EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 4.0 Etapa Consolidada



Industria 5.0 Nueva Revolución Tecnológica



*Innovación. Automatización
Procesos Inteligentes.
IoT. Cloud Computing*

*Aparecen Nuevos Espacios inteligentes
basados en IoT y Computación cognitiva
Inteligencia Artificial. Robótica*

EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 5.0 Nueva Revolución Tecnológica



Colaboración Máquinas y Humanos
Robots Colaborativos. Inteligencia Artificial



*Manufacturación personalizada
Despliegue de Cobots
Rápidez y calidad*



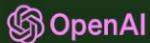
EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 5.0 Nueva Revolución Tecnológica



ChatGPT se lanzó el 30 de noviembre de 2022 y ha llamado la atención por sus respuestas detalladas y articuladas, aunque se ha criticado su precisión fáctica.

Inteligencia Artificial



Research ▾ Product ▾ Developers ▾ Safety Company ▾

Introducing ChatGPT

We've trained a model called ChatGPT which interacts in a conversational way. The dialogue format makes it possible for ChatGPT to answer followup questions, admit its mistakes, challenge incorrect premises, and reject inappropriate requests.

[Try ChatGPT ↗](#)

[Read about ChatGPT Plus](#)



ChatGPT

Hemos entrenado un modelo llamado ChatGPT que interactúa de forma conversacional. El formato de diálogo hace posible que ChatGPT responda preguntas de seguimiento, admita sus errores, cuestione premisas incorrectas y rechace solicitudes inapropiadas.



EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Industria 5.0 Nueva Revolución Tecnológica



Manufacturación personalizada
Despliegue de Cobots
Rápidez y calidad



Jasper

Rytr

Rytr es un asistente de escritura de IA que lo ayuda a crear contenido de alta calidad, en solo unos segundos,

Jasper

Jasper es la plataforma de inteligencia artificial generativa para empresas que ayuda a su equipo a crear contenido personalizado para su marca 10 veces más rápido, dondequiera que trabaje en línea.

Looka

Looka

Una interfaz para crear un logotipo y construir una marca de principio a fin. La forma más sencilla de diseñar un logotipo comercial con inteligencia artificial.

synthesia

Synthesia

Una interfaz para crear video con inteligencia artificial.



Inteligencia Artificial

EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

... "La Supervivencia de ciertos rasgos prevalecen por sobre otros..."

Industria 1.0 y 2.0



Industria 3.0



Industria 4.0



"Supervivencia del más apto"

Industria 5.0



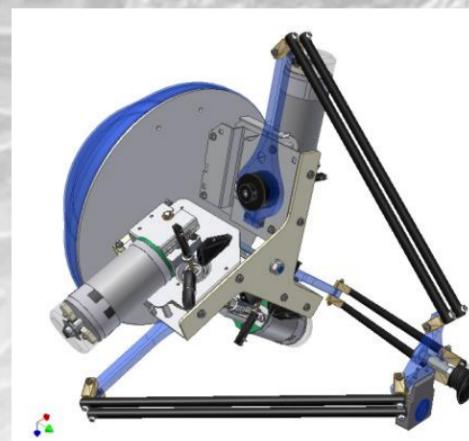
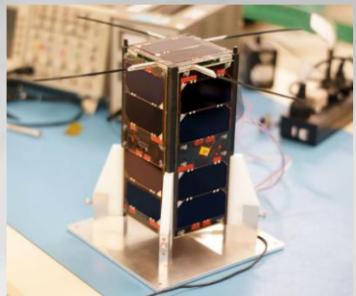
Introducción a la dinámica de Robots

ROBOT (CINEMÁTICA + DINÁMICA)

ROBOT SERIE

ROBOT PARALELO

ROBOT MÓVIL Terrestre
Aéreo
Acuático



Introducción a la dinámica de Robots

ALGUNOS ASPECTOS DE LA ROBOTICA



**ROBOT
ROBÓTICA
MECATRÓNICA**



Introducción a la dinámica de Robots

Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario

<http://www.rae.es/>

ROBOT

robot

Del ingl. *robot*, y este del checo *robot*, de *robota* 'trabajo, prestación personal'.

1. m. Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas.
2. m. *Inform.* Programa que explora automáticamente la red para encontrar información.

[retrato robot](#)

<http://www.rae.es/>

ROBÓTICA

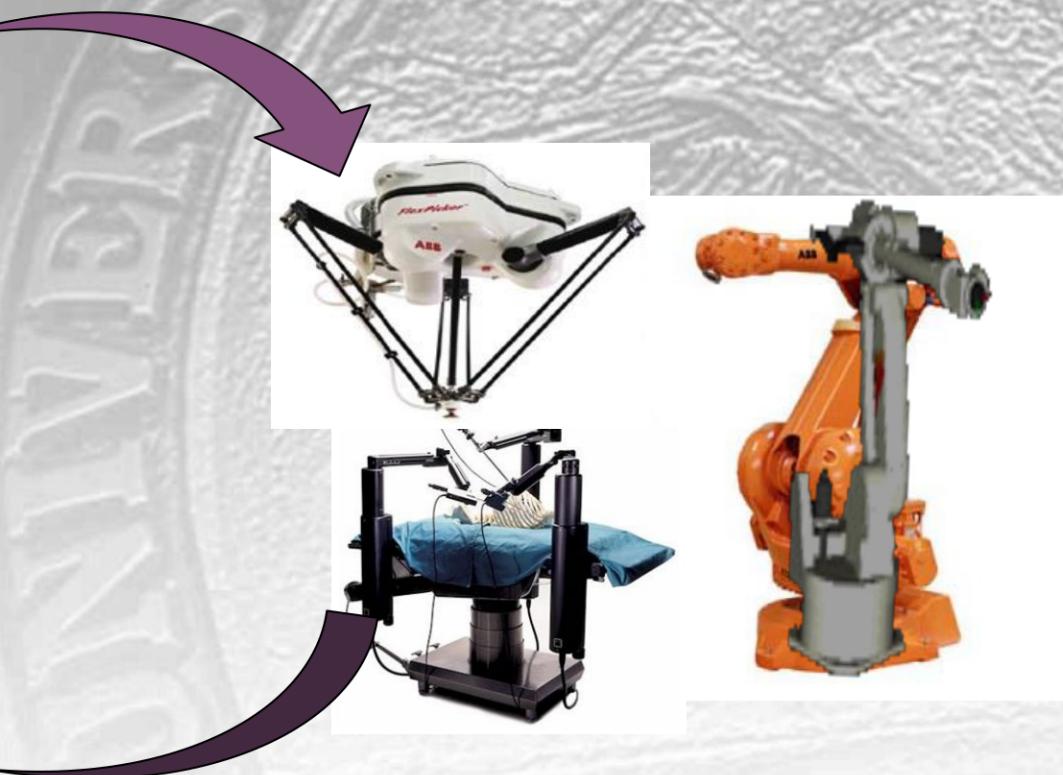
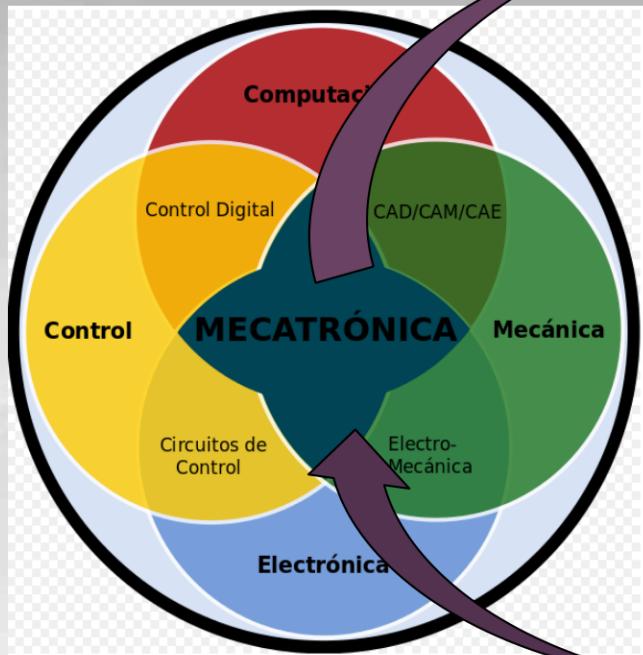
robótica

1. f. Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados

Introducción a los Sistemas Robóticos

MECATRÓNICA integración de tecnologías Mecánica, Electrónica, Informática y Control fusionadas en un producto de funcionamiento ensamblado.



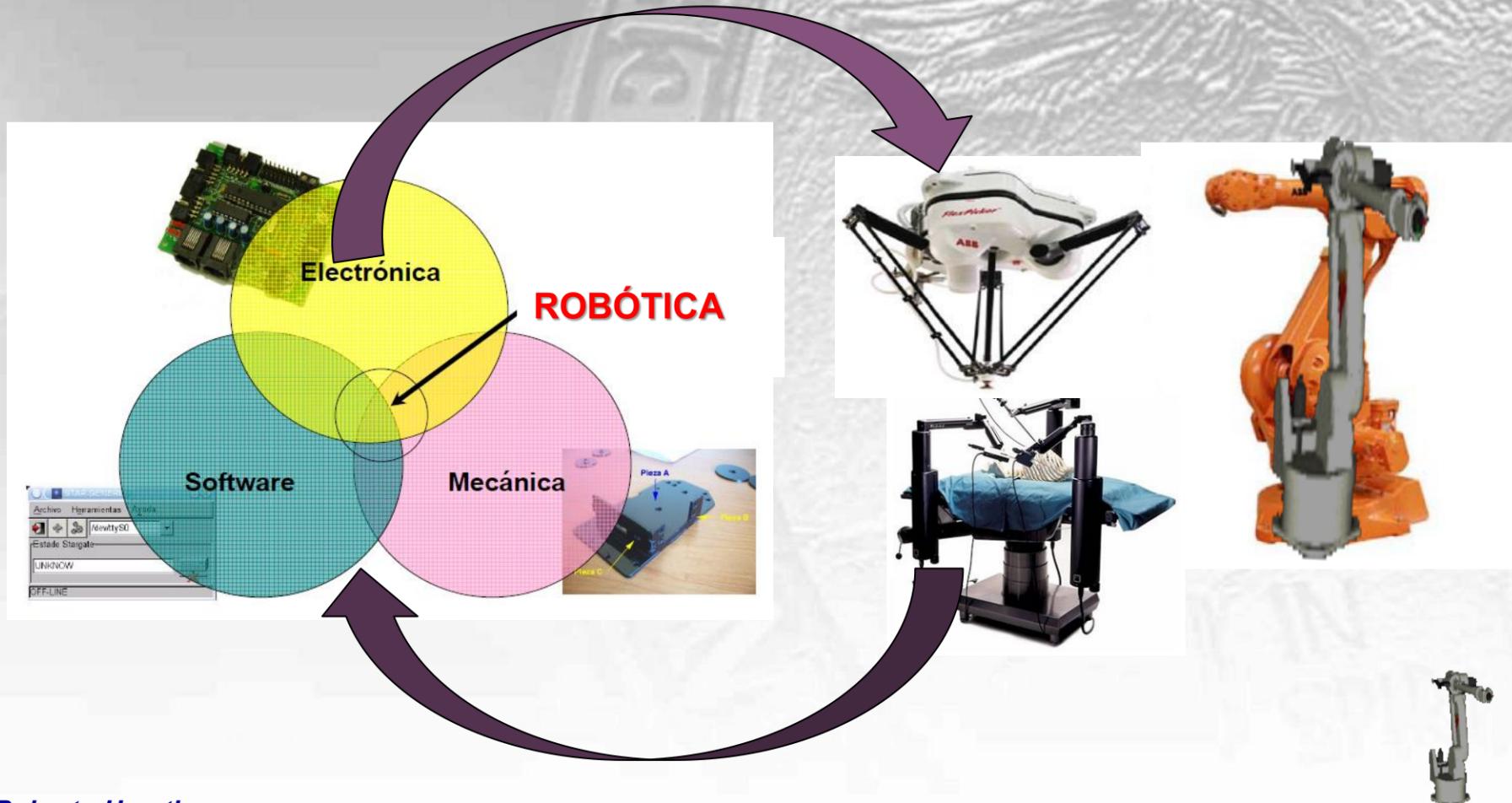
ROBÓTICA sistema automatizado inteligente orientado a un fin específico

Incorpora los mismos elementos que
MECATRÓNICA



ROBÓTICA

Sistema automatizado inteligente orientado a un fin específico que incorpora los mismos elementos que MECATRÓNICA



MECATRÓNICA

Aviso:

La palabra *mecatrónica* no está en el Diccionario.

Real Academia Española © Todos los derechos reservados

En 1969, Tetsuro Mori Ingeniero Empresa japonesa **Yaskawa Electric Co.**,
Acuña el término **Mecatrónica**,

En 1971 se le otorga el derecho de marca.

En 1982 Yaskawa permite el libre uso del término.

Yaskawa definió la Mecatrónica

Palabra compuesta

“meca” de mecanismo y “trónica” de electrónica.

Introducción a la dinámica de Robots

Definición de Robótica

ASOCIACIÓN FRANCESA DE NORMALIZACIÓN (AFNOR)

Organización nacional francesa para la estandarización.

Miembro de la Organización Internacional para la Estandarización

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 trayectorias variables reprogramables, para 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.



afnor
GROUPE

L'association AFNOR et ses filiales constituent un groupe international au service de l'intérêt général et du développement économique des organisations.

- > Normalisation
- > Édition
- > Formation
- > Certification

▶ Secteurs d'activité

▶ Centres d'intérêt

▶ Services et produits

ASOCIACIÓN DE INDUSTRIAS DE ROBÓTICA (RIA, ROBOTIC INDUSTRY ASSOCIATION)

“Robot industrial” Manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTÁNDARES (ISO)

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

ROBOT INDUSTRIAL (ISO 8373. 1994. Modificada en 1996)

Manipulador de uso múltiple controlado automáticamente programable en tres o más ejes, puede ser fijo o móvil en su lugar para uso en aplicaciones de automatización industrial



Introducción a la dinámica de Robots.

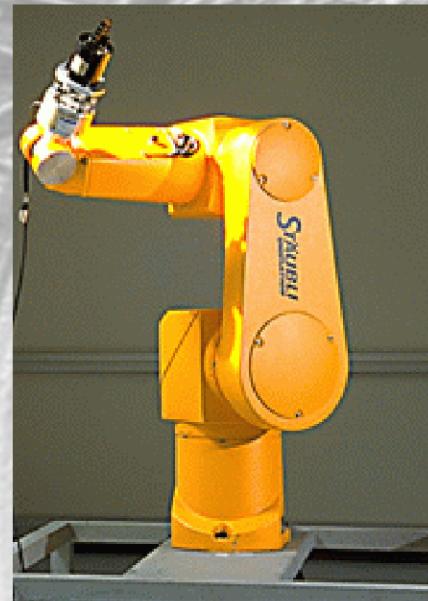
ROBOT INDUSTRIAL



**ABB IRB2400 – (RAPID)
RobotStudio**



**KUKA – (KRL)
Kuka Sim Pro**



**STAUBLI – (V+)
Staubli Robotics
Suite**



**FANUC
M900iB –(KAREL)
Roboguide**



Introducción a la dinámica de Robots

TAREAS QUE REALIZA UN ROBOT



ROBOT INDUSTRIAL

Sectores de Aplicación

- Apilado de Maderas
- Carga y Descarga
- Celda Soldadura Arco
- Panelado de Chapas
- Manipulación con máquinas
- Pulido
- Corte a Chorro Agua
- Corte Plasma
- Corte Laser
- Engrafado
- Soldadura Arco Mig - Mag
- Soldadura por Puntos
- Soldadura Laser



ROBOTICA INDUSTRIAL



VENTAJAS aplicaciones industriales

•Calidad de Respuesta.

Un sistema automatizado inteligente permite que cada producto tenga una garantía de calidad autenticada no sujeta a un error humano.

•Tiempo de repuesta programado.

Asegura la producción en un tiempo determinado

•Economía.

Se eliminan gastos o costos no determinados por la mano de obra, costos de enfermedad, vacaciones, extras.

•Aprovechamiento de la materia prima.

Disminuyen los fragmentos o partes defectuosas de un proceso de fabricación

Introducción a la dinámica de Robots

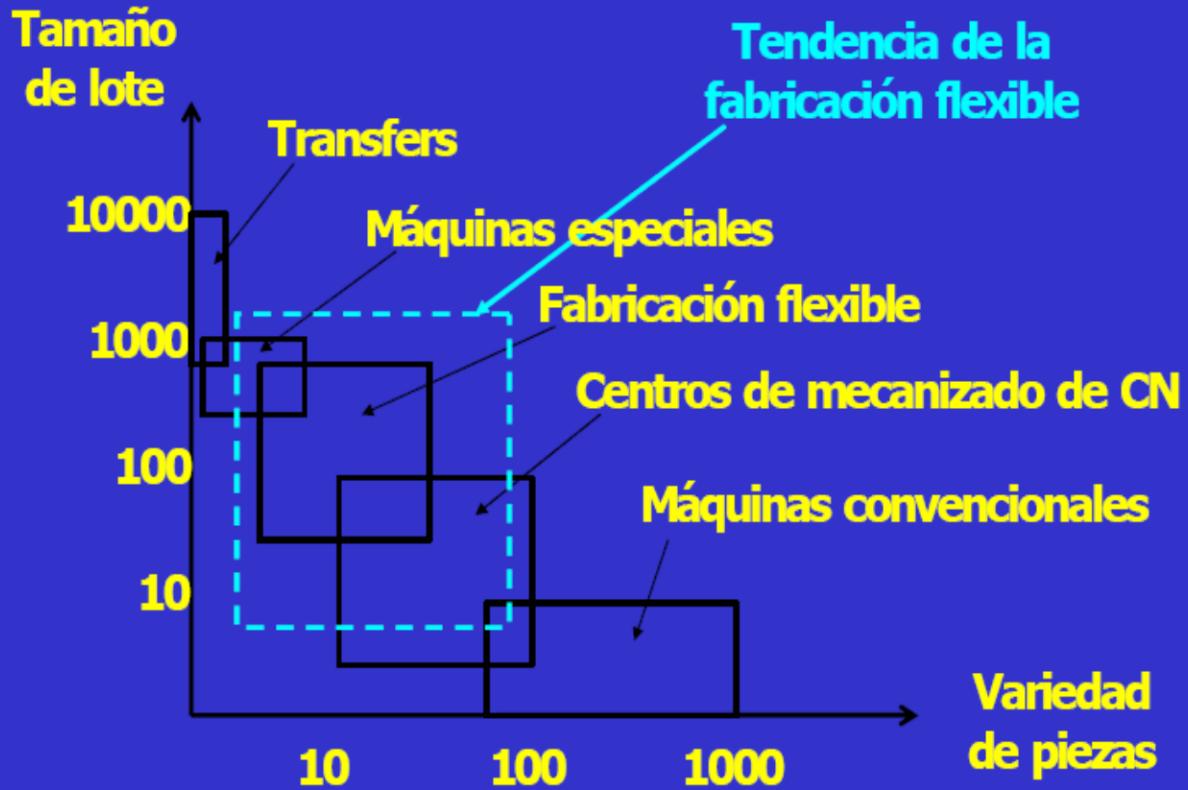
Procesos Automatizados

Robótica industrial



Introducción a la dinámica de Robots

ROBOT INDUSTRIAL



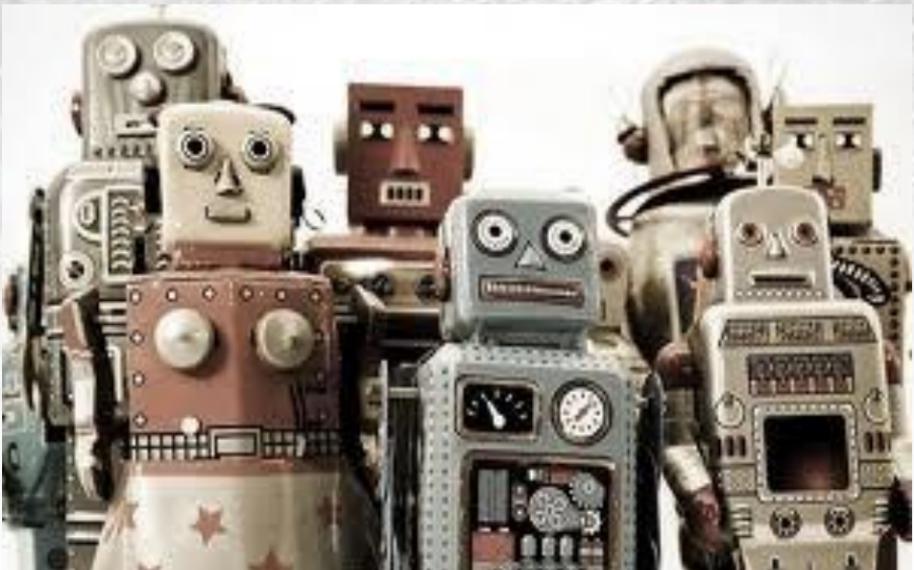
Procesos Automatizados



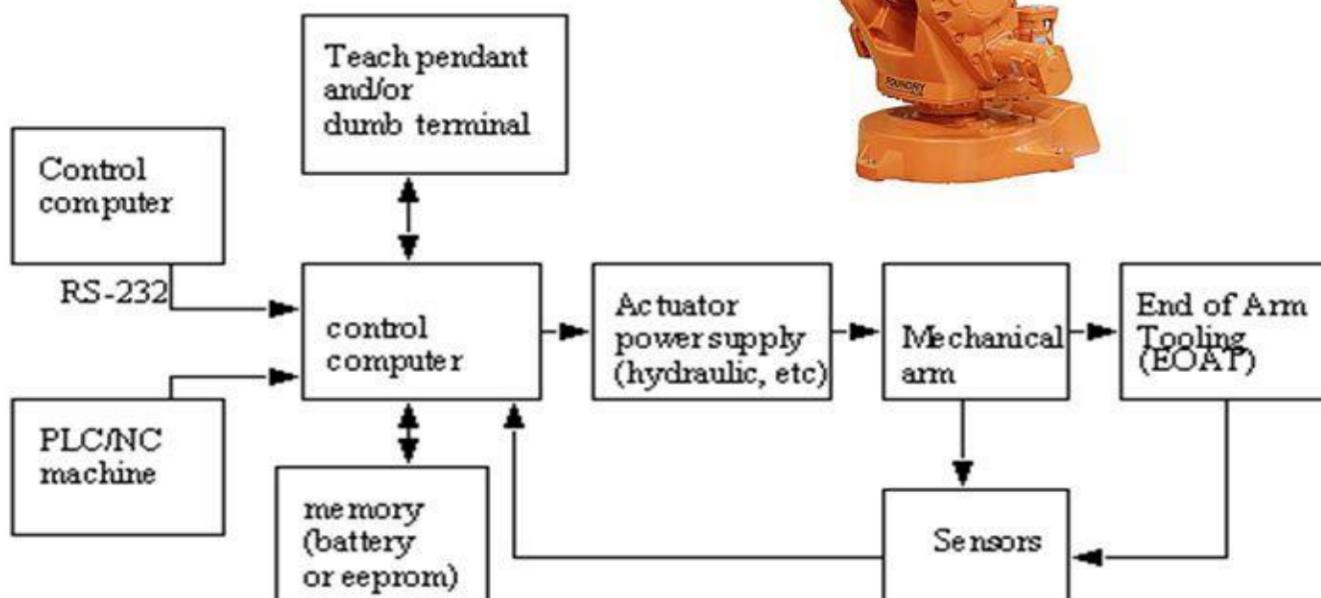
Introducción a la dinámica de Robots



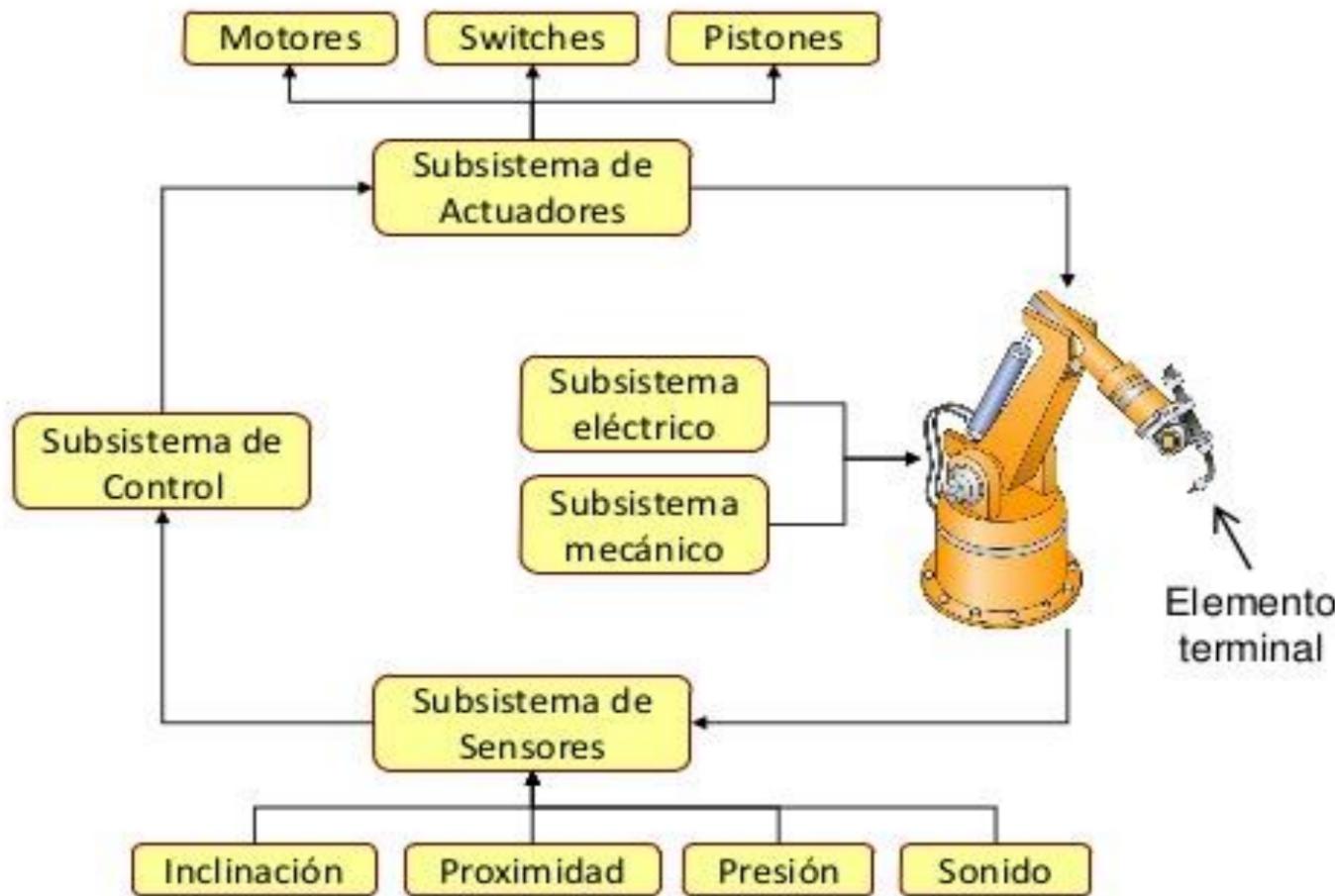
**Diseño Conceptual.
Cinemática. Dinámica
Sistemas de Transmisión y Reducción
Sistemas de Accionamiento**



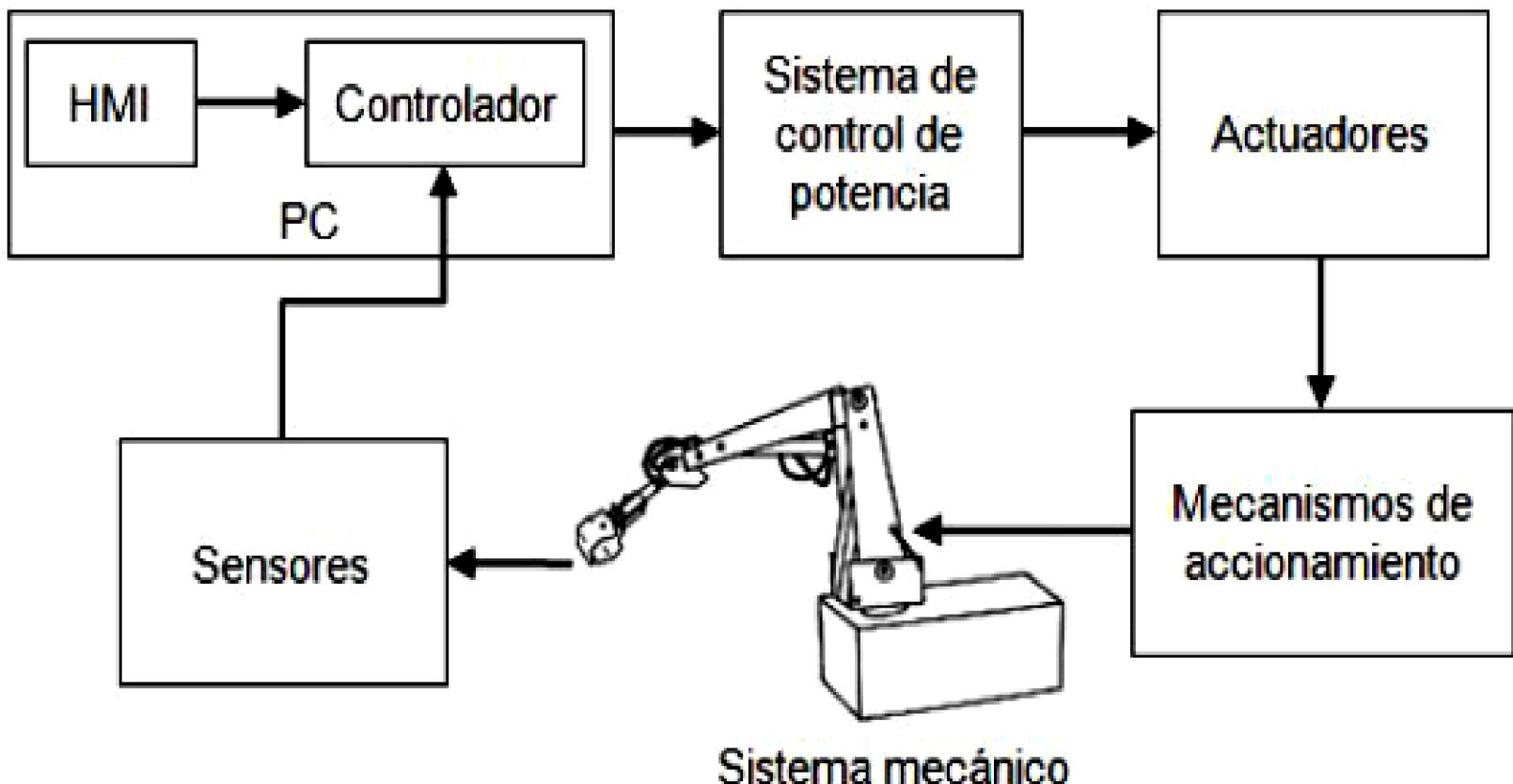
Esquema general de un robot



Esquema general de un robot

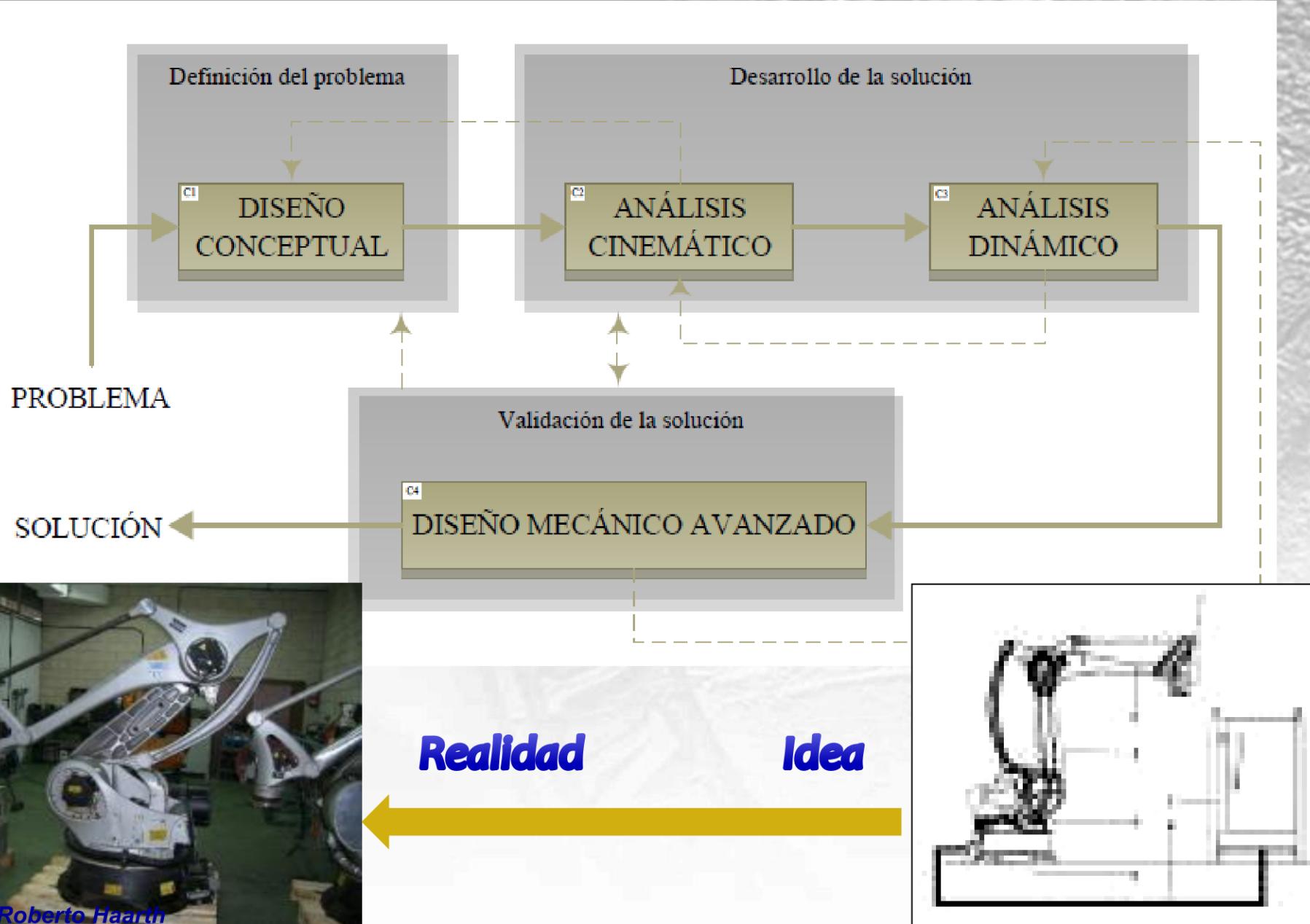


Introducción a la dinámica de Robots



Introducción a la dinámica de Robots

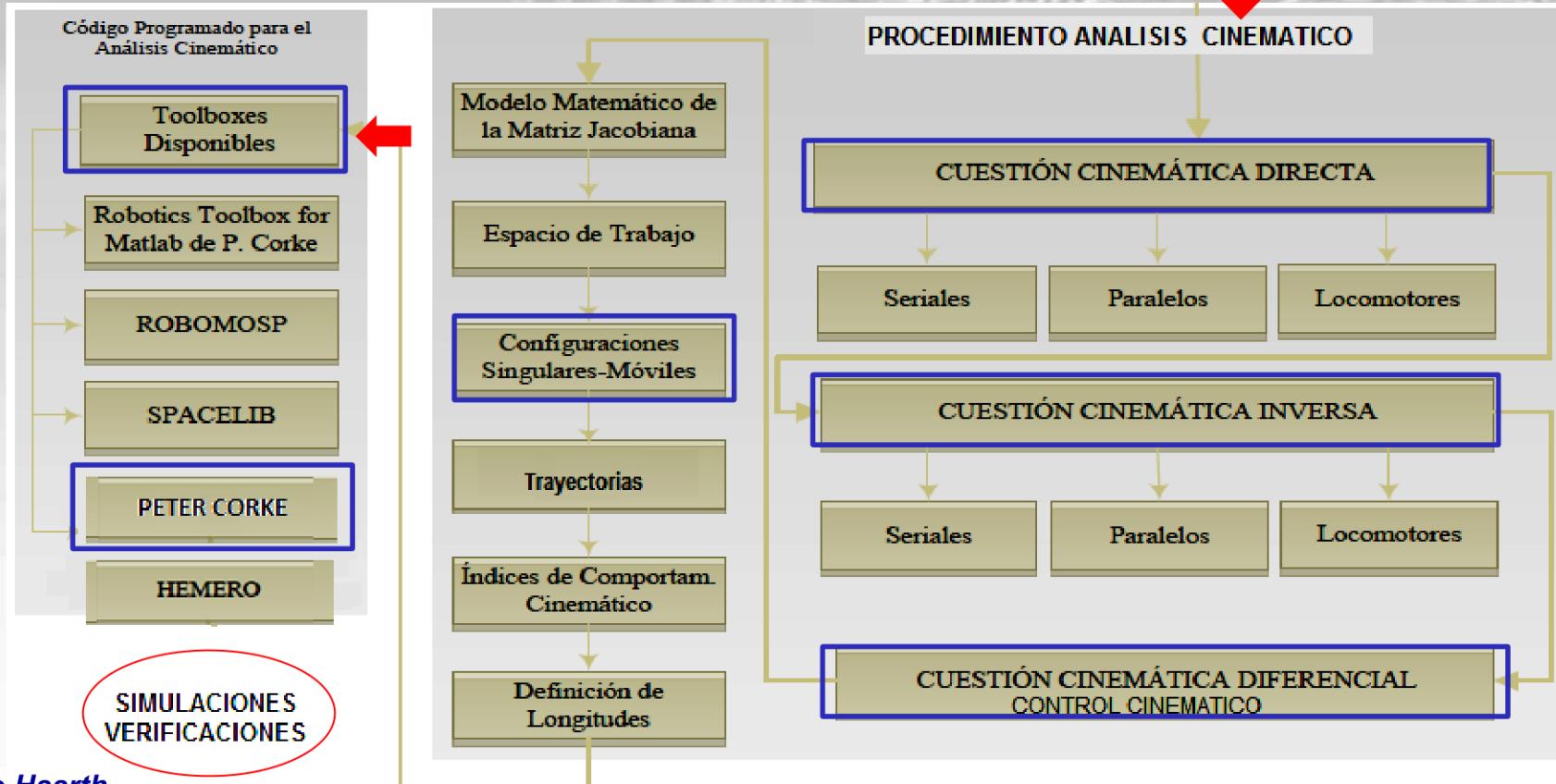
ROBOT . ESQUEMA GENERAL . DISEÑO CONCEPTUAL



Análisis Cinemático



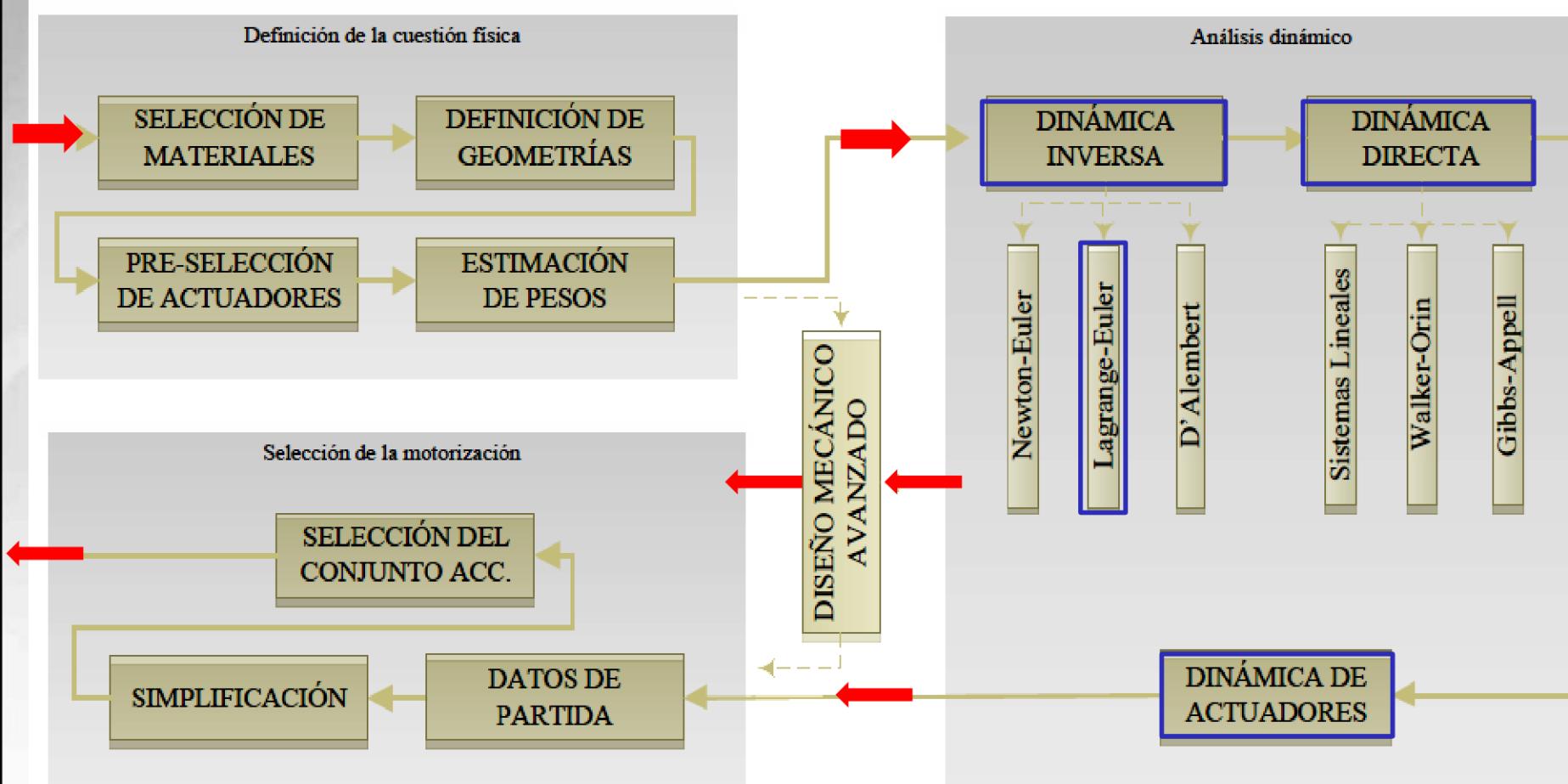
Definición de la Cuestión Física



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

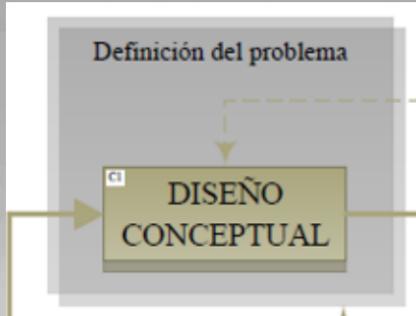
Robótica II



Introducción a la dinámica de Robots

DISEÑO CONCEPTUAL . ASPECTOS A CONSIDERAR

Usuario – Tarea – Entorno



Diseño Centrado en el Usuario

Diseñador identifica Idea y Restricciones Cinemáticas-Dinámicas

Diseño Centrado en la Tarea

De la tarea depende el objetivo a ejecutar y entorno donde el Robot realiza la operación.

Sin tareas definidas no hay claridad. Repercuten en las variables del diseño, GDL, Cinemática, Dinámica, Actuadores, Sensores y Esquemas de Control.



Diseño Centrado en el Entorno

Medio donde se desarrolla el Trabajo incluido personas y otros Robot. (Colisiones)

Requiere adaptación flexible al Entorno.

Introducción a la dinámica de Robots

DISEÑO CONCEPTUAL . ESPECIFICACIONES

Espacio de Trabajo Útil y Efectivo

Útil se refiere al Espacio de Trabajo. Efectivo al alcance del robot
Puntos accesibles.



Capacidad de Carga.

Restricciones de movimientos para minimizar la inercia de eslabones. Robot estáticos vs. Robot móviles (aquí se reduce el peso propio)

Índice de Dimensiones Mínimas y Máximas

Relaciona espacio útil y efectivo. Índice Parámetro L

L: suma longitud de cada eslabón de la cadena cinemática (Jardón Huete, 2006)
l y d se obtienen de los parámetros de Denavit –Hartenberg

$$L = \sum_{i=1}^n (l_i + d_i)$$

Q: Índice de longitud estructural (Jardón Huete, 2006):
(W es el espacio de trabajo)

$$Q = \frac{L}{\sqrt[3]{W}}$$



Primera Consideración

Resultado. Tabla que identifica los espacios adecuados entre actividades y tipo de Robot Industrial (serie, paralelo, móvil)

Introducción a la dinámica de Robots

DISEÑO CONCEPTUAL . ESPECIFICACIONES

Tipo de Configuración

Se refiere a GDL -Robot. Singularidades. Velocidades de diseño



Coeficiente de Diseño.

Relaciona la capacidad de Carga de Trabajo con la masa Robot. Considera la longitud de robot que se puede mover con la masa del mecanismo (Jardón Huete, 2006). Alcance: longitud robot. M: masa del Robot.

$$C_d = \frac{\text{Alcance} \cdot N_{GDL}}{M}$$

→ **Importante:** Optimizar peso total del Robot. Reducir la Inercia (motor en base)

Indice de Destreza

Determina geométricamente cuán alejado se encuentra el efecto final de un punto singular. (Jara Bravo, 2008)

J es la matriz Jacobiana.

Si hay singularidad no hay inversa del jacobiano, det=0.

$$I_d(J) = \|J(\theta)\| \cdot \|J(\theta)^{-1}\|$$

Valores entre 1 e Infinito.

Segunda Consideración



Resultado. Para cuantificar el valor de la destreza de un robot, es decir, la precisión cinemática asociada a él se requiere conocer otros índices (condicionamiento local y global)

Introducción a la dinámica de Robots

DISEÑO CONCEPTUAL . ESPECIFICACIONES

Índice de Condicionamiento local

Se define como la inversa del Índice de destreza $I_{cl}(J) = I_d(J)^{-1}$

Valores de 0 a 1



Cercano a 1: el sistema presenta mejor destreza y precisión

Cercano a 0: más próximo se encontrará de una singularidad.

Índice de Condicionamiento Global.

Es la integral del índice comportamiento local para todos los puntos que forman parte del espacio o volumen Util de trabajo.

Importante

El índice proporciona una tendencia de cuánto “sufren” en promedio los accionamientos del sistema robótico. Los diseñadores recomiendan valores >0,5

$$I_{cg}(J) = \frac{\int_V I_{cl}(J) dV}{\int_V dV}$$

Velocidad y Capacidad de Aceleración.

Es importante comprobar el Jacobiano en todo el espacio de trabajo que verifique los valores adecuados de velocidades de diseño dentro del conjunto de puntos.

Cuarta Consideración

Resultado. Comprobar velocidades y capacidades de aceleración para el diseño correcto de las articulaciones y selección de motores.
Motores sobredimensionados (pesados, caros, eslabones mas resistentes).

Introducción a la dinámica de Robots

DISEÑO CONCEPTUAL . ESPECIFICACIONES



Otros factores a Considerar en el Diseño

- Precisión y Repetibilidad. Necesario para alcanzar los puntos
- Tipo de Estructura. Serial. Paralelo. Móvil
- Eslabones y Articulaciones
- Actuadores
- Sensores
- Efecto final

	Alcance	Espacio de trabajo	Tamaño	Peso	Rigidez estructural	Capacidad de carga	Número de GdL	Destreza	Consumo energético	Dinámica
Alcance	×	↑↑	↑↑	?	?	←	↑↑	←	?	
Espacio de trabajo	↑↑	×	↑↑	?	?	↓	↑↑	←	?	
Tamaño	↑↑	↑↑	×	↑↑	?	↑↑	↑↑	?	→	
Peso	↑↑	↑↑	↑↑	×	↑↑	↑↑	↑↑	?	→	
Rigidez estructural	↓↓	↓↓	↓	↑↑	×	↑↑	↓↓	←	?	
Capacidad de carga	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↓	×	↓	↑↑		
Número de GdL	↑	↑	?	?	↓↓	?	×	↑↑		
Destreza	↑	↑	↑	↑	?	↑↑	↑↑	?	?	
Consumo energético	?	?	↑↑	↑↑	?	↑↑	↑↑	?	?	
Dinámica			↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑		?	

Cuadro comparativo
Entre los Factores de
Diseño



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

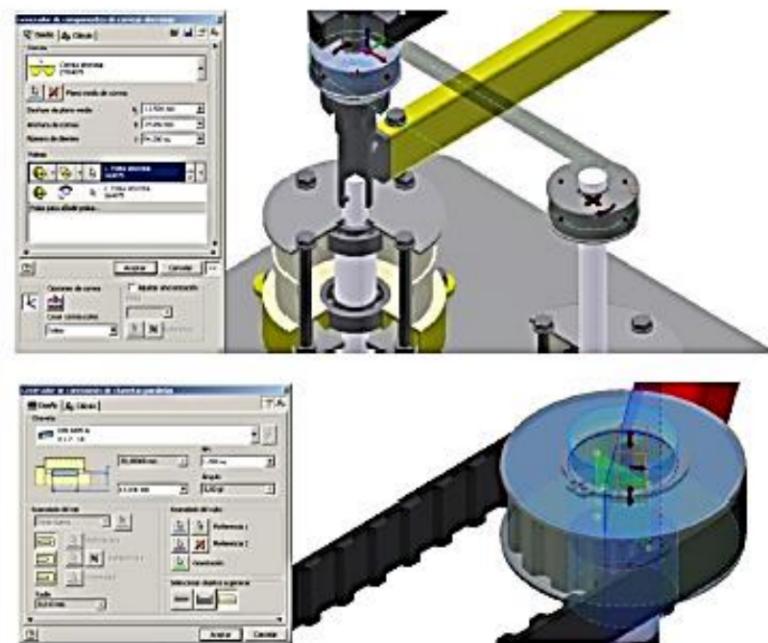
Diseño del Mecanismo Avanzado

- Generación de Componentes:

The screenshot displays four software windows for component generation:

- Generador de rodamientos:** Shows a bearing diagram with input fields for Load (Carga radial: 340,717 N, Carga axial: 24,214 N, Velocidad: 7 rpm) and Type (Tipo de círculo de rodamiento: Rodamiento de bolas). Results include Angular de arrastre variable: 0.000000 rad/s, Factor de carga radial efectivo: 0.800, and Factor de carga axial efectiva: 0.000000.
- Generador de componentes de cojinetes por parámetros:** Shows a bearing diagram with input fields for Load (Carga radial: 340,717 N, Carga axial: 24,214 N, Velocidad: 7 rpm), Material de las placas (Material de los cojinetes: Acero de carbono), Modulo de elasticidad (Modulo de elasticidad: 210,000 MPa), and Properties of steel (Propiedades de acero: Factor de resistencia: 0.85, Factor de resistencia de la fundición: 0.85).
- Generador de componentes de eje:** Shows a shaft diagram with input fields for Load (Fuerza axial máxima: 27 N, Fuerza tangencial máxima: 13 N, Factor de apoyo: 1.5, Factor de entrada de fuerza: 0.5, Coeficiente de fricción de juntas: 0.141, Coef. de separación resorte: 0.05), Material (Material: Acero inoxidable), Modulo de elasticidad (Modulo de elasticidad: 210,000 MPa), Factor de resistencia (Factor de resistencia: 0.85), and Properties of steel (Properties of steel: Factor de resistencia: 0.85, Factor de resistencia de la fundición: 0.85).
- 3D CAD Model:** A detailed 3D rendering of a mechanical system consisting of a base plate, a vertical shaft, a horizontal beam, and various connecting components.

- Ejes
- Pasadores
- Chavetas
- Uniones atornilladas
- Rodamientos
- Elementos de Transmisión de Potencia
- Bastidor



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Diseño del Mecanismo Avanzado

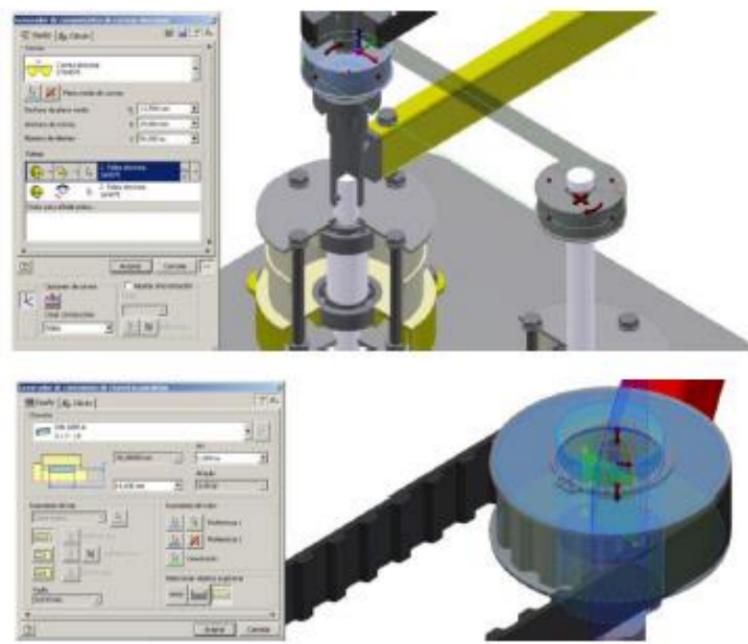


- Generación de Componentes:

The screenshot displays three software windows for component generation:

- Generador de rodamientos:** Shows a bearing configuration with input fields for load types ($F_r = 940,727 \text{ N}$, $F_a = 24,21 \text{ N}$) and speed ($n = 7 \text{ rpm}$). It includes a preview window showing a red bearing.
- Generador de componentes de conexión para pernos:** Shows a bolted joint diagram with input fields for material properties (Modulo de elasticidad: $E = 200,000 \text{ MPa}$, Factor de tensión: $\gamma = 1.25$) and force values ($F_r = 679,341 \text{ N}$, $F_a = 175,281 \text{ N}$, $M_r = 1,191 \text{ Nm}$, $M_a = 24,407 \text{ Nm}$, $S_r = 35,000 \text{ MPa}$, $S_a = 34,407 \text{ MPa}$, $T_r = 15,039 \text{ MPa}$, $T_a = 12,942 \text{ MPa}$).
- Generador de componentes de eje:** Shows a shaft assembly diagram with input fields for material properties (Modulo de elasticidad: $E = 100,000 \text{ MPa}$, Modulo de rigidez: $G = 75,000 \text{ GPa}$, Factor de resistencia: $\gamma = 1.05$) and force values ($F_r = 1,224 \text{ N}$, $F_a = 4,336 \text{ N}$, $M_r = 2,000 \text{ Nm}$, $M_a = 2,000 \text{ Nm}$, $S_r = 1,000 \text{ MPa}$, $S_a = 1,000 \text{ MPa}$, $T_r = 1,000 \text{ MPa}$, $T_a = 1,000 \text{ MPa}$).

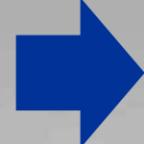
- Ejes
- Pasadores
- Chavetas
- Elementos de Uniones
- atornilladas
- Rodamientos
- Rodamientos
- Bastidor



Introducción a la dinámica de Robots

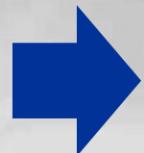
Análisis Dinámico

Diseño del Mecanismo Avanzado . SELECCIÓN DE MATERIALES



Herencia de la Robótica Industrial

Materiales metálicos (aceros estructurales con alto contenido en carbono, debido a que presentan una gran resistencia. Las aleaciones permiten mayor resistencia mecánica.



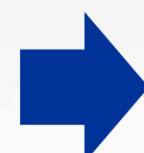
Las Aleaciones Presentan mayor resistencia mecánica.

Aleaciones de aluminio presentan similares propiedades que los aceros comunes e inoxidables, una menor densidad.

Ejemplo, las aleaciones de Zinc, Magnesio y Cobre (Al7075) presentan las características mecánicas más elevadas de todas las aleaciones de aluminio.



Tendencia Actual. Utilización de materiales más ligeros como los cerámicos o los termoplásticos



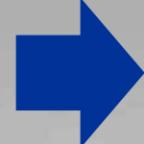
Objetivo:

Minimizar el Peso del Robot cumpliendo las especificaciones de rigidez estructural.

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Diseño del Mecanismo Avanzado . SELECCIÓN DE MATERIALES



CONSIDERACIONES

- **Densidad**, ρ [Kg/m³]: Cantidad de masa contenida en un volumen.
- **Módulo elástico**: Cociente entre una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación:
 - Módulo de Young, E [GPa, N/m²].
 - Módulo transversal, G [GPa, N/m²].
 - Módulo volumétrico, K [GPa, N/m²].

- **Límite elástico o de fluencia**, σ_F [MPa, N/m²]: Tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.
- **Límite de rotura**, σ_R [MPa, N/m²]: Valor de tensión o carga máxima por unidad de sección que resiste el material antes de romperse.
- **Dureza**, H [MPa]: Propiedad de resistir el rayado y el corte de superficie.
- **Tenacidad**, G_C [J/m²]: Resistencia a la propagación de una fisura.

- **Conductividad térmica**, λ_T [W/m·K]: Índice o tasa a la cual el calor es conducido en un sólido en estado estacionario.
- **Coeficiente de expansión térmica**, α_T [1/K]: Deformación térmica por grado (en materiales isotrópicos, deformación volumétrica por grado).

- **Temperatura de fusión**, T_g [K]: Temperatura que define la transición de sólido verdadero a líquido muy viscoso (para sólidos no cristalinos).
- **Temperatura máxima de servicio**, $T_{máx}$ [K]: Temperatura máxima a la cual el material puede usarse sin oxidación, cambios químicos, creep,....
- **Resistencia al shock térmico**, T_{shock} [K]: Diferencia de temperatura máxima a la que puede ser calentado rápidamente sin sufrir daño.



Centro de Masa

- Centro de masa (\mathbf{p}_c) para un **conjunto de partículas**:

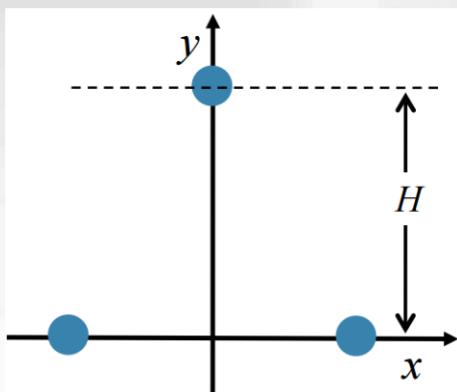
Ejemplo:

$$\mathbf{p}_c = \frac{\sum_i \mathbf{p}_i m_i}{\sum_i m_i}$$

\mathbf{p}_i : posición de la i -ésima partícula

m_i : masa de la i -ésima partícula

El sistema mostrado en la figura consta de tres objetos puntuales con igual masa m cada uno y localizados en las esquinas de un triángulo equilátero. Calcular el centro de masa $\mathbf{p}_c = (x_c, y_c)$ del sistema



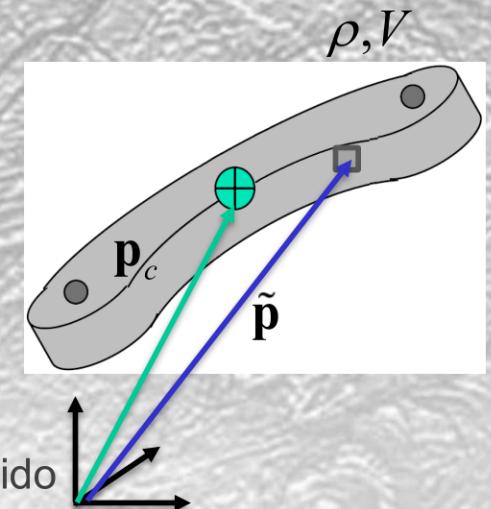
$$x_c = 0 \quad (\text{por simetría})$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i m_i}{\sum_{i=1}^3 m_i} = \frac{Hm + 0m + 0m}{m + m + m} = \frac{H}{3}$$

Centro de Masa

- Centro de masa (\mathbf{p}_c) para un **cuerpo rígido**:

$$\mathbf{p}_c = \frac{1}{m} \int_m \tilde{\mathbf{p}} dm = \frac{1}{m} \int_V \tilde{\mathbf{p}} \rho dV$$



$\tilde{\mathbf{p}}$: Posición de algún punto del cuerpo rígido

m : Masa total del cuerpo rígido

ρ : Densidad del cuerpo rígido

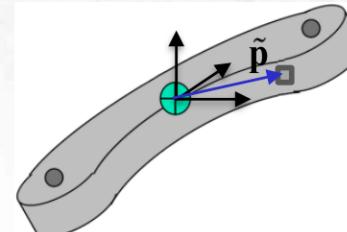
V : Volumen del cuerpo rígido

$$\begin{aligned}\mathbf{p}_c &= (x_c, y_c, z_c) \\ \tilde{\mathbf{p}} &= (\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})\end{aligned}$$

- Caso particular:

- Si el sistema de referencia está en el CM, el CM es el origen:

$$\mathbf{p}_c = \frac{1}{m} \int_V \tilde{\mathbf{p}} \rho dV = 0$$



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

Ejemplo

Centro de Masa

Jacobiano con respecto al CM de cada eslabón para un robot de 2 gdl en el plano

- Jacobiano para el CM del eslabón 1:

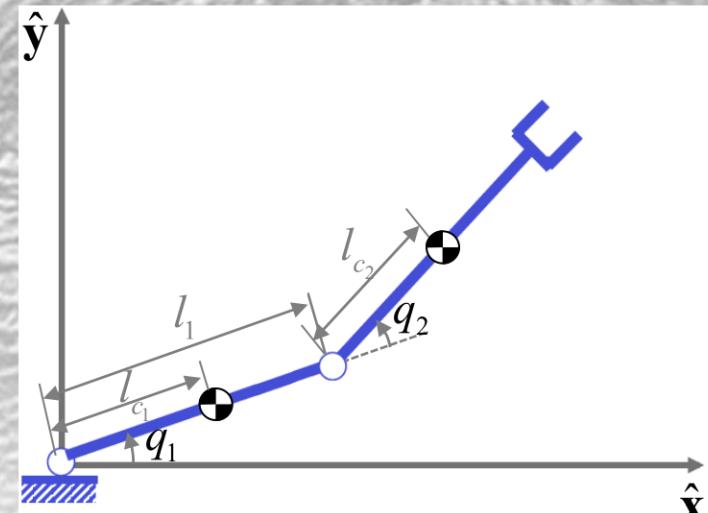
$$\begin{bmatrix} J_v^1 \\ J_\omega^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{v_1}^1 & \mathbf{0} \\ J_{\omega_1}^1 & \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{p}_{c_1}}{\partial q_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{z}_0 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

Componentes del Jacobiano:

$$J_{v_1}^1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial q_1} & 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial q_1} & 0 \\ \frac{\partial z_1}{\partial q_1} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_{c_1}s_1 & 0 \\ l_{c_1}c_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad J_\omega^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Jacobiano para el CM del eslabón 2:

$$\begin{bmatrix} J_v^2 \\ J_\omega^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{v_1}^2 & J_{v_2}^2 \\ J_{\omega_1}^2 & J_{\omega_2}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{p}_{c_2}}{\partial q_1} & \frac{\partial \mathbf{p}_{c_2}}{\partial q_2} \\ \mathbf{z}_0 & \mathbf{z}_1 \end{bmatrix} \quad J_v^2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_2}{\partial q_1} & \frac{\partial x_2}{\partial q_2} \\ \frac{\partial y_2}{\partial q_1} & \frac{\partial y_2}{\partial q_2} \\ \frac{\partial z_2}{\partial q_1} & \frac{\partial z_2}{\partial q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_1s_1 - l_{c_2}s_{12} & -l_{c_2}s_{12} \\ l_1c_1 + l_{c_2}c_{12} & l_{c_2}c_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad J_\omega^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$



Posición del CM del eslabón 1: $x_1 = l_{c_1}c_1$
 $y_1 = l_{c_1}s_1$

Posición del CM eslabón 2: $x_2 = l_1c_1 + l_{c_2}c_{12}$
 $y_2 = l_1s_1 + l_{c_2}s_{12}$

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

TENSOR DE INERCIA

El tensor de inercia

es una cantidad física que describe la distribución de masa de un objeto en relación con su rotación.

En particular, el tensor de inercia se utiliza para medir la resistencia de un objeto a los cambios en su velocidad angular. En otras palabras, el tensor de inercia describe cómo un robot responderá a una fuerza aplicada en una determinada dirección y cuánta energía se necesitará para hacerlo girar en esa dirección.

Es una matriz simétrica tridimensional 3x3 que proporciona información sobre cómo la masa está distribuida alrededor de los ejes de coordenadas del objeto.

Cada elemento de la matriz representa una combinación de los productos de masa y las distancias al eje de rotación. Los elementos diagonales del tensor de inercia (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}) representan las inercias principales del objeto en relación con los ejes de coordenadas.

Los elementos fuera de la diagonal (I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}) se conocen como productos de inercia y describen cómo la masa está distribuida en relación con pares de ejes. Estos elementos son normalmente diferentes de cero cuando hay asimetría en la distribución de masa del objeto.

El tensor de inercia es una herramienta importante en la mecánica clásica y se utiliza en cálculos relacionados con la cinemática y la dinámica de rotación de objetos. Permite calcular el momento de inercia de un objeto alrededor de cualquier eje de rotación, así como la energía cinética de rotación y otros parámetros relacionados.

TENSOR DE INERCIA

- Matemáticamente :

$$I \equiv \int_V \hat{\mathbf{p}}^T \hat{\mathbf{p}} \rho dV$$

\mathbf{p} : posición (x, y, z)
 $\hat{\mathbf{p}}$: matriz antisimétrica
 ρ : densidad
 V : volumen

$$I = \begin{bmatrix} \int (y^2 + z^2) \rho dV & -\int xy \rho dV & -\int xz \rho dV \\ -\int xy \rho dV & \int (x^2 + z^2) \rho dV & -\int yz \rho dV \\ -\int xz \rho dV & -\int yz \rho dV & \int (x^2 + y^2) \rho dV \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix}$$

Momentos principales
de inercia

- Observaciones:

- Tensor de inercia es **simétrico**: $I_{xy} = I_{yx}$, $I_{xz} = I_{zx}$, $I_{zy} = I_{yz}$
- Momentos principales de inercia: I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}
- Productos cruzados de inercia: I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}
- Si el objeto es simétrico en el sistema de referencia, los productos cruzados son cero (I es diagonal)
- La integral: $\int (y^2 + z^2) \rho dV = \iiint (y^2 + z^2) \rho dx dy dz$

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

El movimiento de los cuerpos rígidos se relaciona con la masa, la fuerza, la velocidad, la aceleración e inercia del sistema.

Energía Cinética de rotación de un cuerpo sólido rígido se define en función del Tensor de Inercia y la velocidad angular Ω

$$I_{xx} = \int_M d_x^2 dm = \int_V \rho(y^2 + z^2) dx dy dz$$

$$I_{yy} = \int_M d_y^2 dm = \int_V \rho(z^2 + x^2) dx dy dz$$

$$I_{zz} = \int_M d_z^2 dm = \int_V \rho(x^2 + y^2) dx dy dz$$

$$E_{rot} = \frac{1}{2} (\Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z) \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \sum_j \sum_k I_{jk} \Omega_j \Omega_k$$

El **tensor de inercia** es un tensor simétrico de segundo orden que caracteriza la inercia rotacional de un sólido rígido. Matriz simétrica, de los momentos de inercia según tres ejes perpendiculares y tres productos de inercia .

$$I_{\infty} = \iiint_v (y^2 + z^2) \rho dv$$

Para
cuerpos
discretos

$$I_x = \iiint_v (x^2 + z^2) \rho dv$$

$$I_y = \iiint_v (x^2 + y^2) \rho dv$$



$$I_{\infty} = \sum_{i=1}^N m_i (y_i^2 + z_i^2)$$

$$I_x = \sum_{i=1}^N m_i (x_i^2 + z_i^2)$$

$$I_y = \sum_{i=1}^N m_i (x_i^2 + y_i^2).$$

$$I_x = \sum_{i=1}^N m_i x_i y_i$$

$$I_{\infty} = \sum_{i=1}^N m_i x_i z_i$$

$$I_y = \sum_{i=1}^N m_i y_i z_i$$

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

El movimiento de los cuerpos rígidos se relaciona con la masa, la fuerza, la velocidad, la aceleración e inercia del sistema.

Energía Cinética de rotación de un cuerpo sólido rígido se define en función del Tensor de Inercia y la velocidad angular Ω

$$I_{xx} = \int_M d_x^2 dm = \int_V \rho(y^2 + z^2) dx dy dz$$

$$I_{yy} = \int_M d_y^2 dm = \int_V \rho(z^2 + x^2) dx dy dz$$

$$I_{zz} = \int_M d_z^2 dm = \int_V \rho(x^2 + y^2) dx dy dz$$

$$E_{rot} = \frac{1}{2} (\Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z) \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \sum_j \sum_k I_{jk} \Omega_j \Omega_k$$

El **tensor de inercia** es un tensor simétrico de segundo orden que caracteriza la inercia rotacional de un sólido rígido. Matriz simétrica, de los momentos de inercia según tres ejes perpendiculares y tres productos de inercia .

$$I_{\infty} = \iiint_v (y^2 + z^2) \rho dv$$

Para
cuerpos
discretos

$$I_x = \iiint_v (x^2 + z^2) \rho dv$$

$$I_y = \iiint_v (x^2 + y^2) \rho dv$$



$$I_{\infty} = \sum_{i=1}^N m_i (y_i^2 + z_i^2)$$

$$I_x = \sum_{i=1}^N m_i (x_i^2 + z_i^2)$$

$$I_y = \sum_{i=1}^N m_i (x_i^2 + y_i^2).$$

$$I_x = \sum_{i=1}^N m_i x_i y_i$$

$$I_{\infty} = \sum_{i=1}^N m_i x_i z_i$$

$$I_y = \sum_{i=1}^N m_i y_i z_i$$

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

→ Cálculo del Tensor de Inercia Brazo Rígido de dimensiones fijas y sección rectangular.

Sistema de coordenadas del centro de masa (CM) con origen en m : es la masa total del cuerpo.

$$\frac{c}{2}, \frac{b}{2}, \frac{a}{2}$$

$$I_{xx} = \iiint_0^a_0^b_0^c (y^2 + z^2) \rho dx dy dz$$

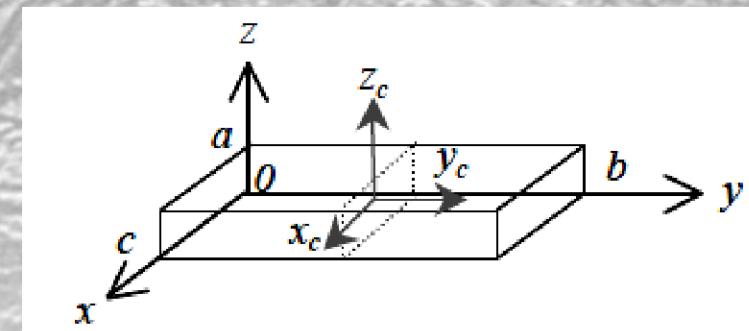
$$= \iiint_0^a_0^b c (y^2 + z^2) \rho dy dz$$

$$= \int_0^a c \left(\frac{b^3}{3} + z^2 b \right) \rho dz$$
$$= \left(\frac{ab^3 c}{3} + \frac{a^3 bc}{3} \right) \rho$$

$$= \frac{m}{3} (b^2 + a^2)$$

$$I_{xy} = \iiint_0^a_0^b_0^c (x^2 + z^2) \rho dx dy dz = \frac{m}{3} (a^2 + c^2)$$

$$I_{xz} = \iiint_0^a_0^b_0^c (x^2 + y^2) \rho dx dy dz = \frac{m}{3} (b^2 + c^2)$$



$$I_{yy} = \iiint_0^a_0^b_0^c xy \rho dx dy dz$$

$$= \int_0^a \int_0^b \frac{c^2}{2} y \rho dy dz$$

$$= \int_0^a \frac{b^2 c^2}{4} y \rho dz$$

$$= \frac{m}{4} bc$$

$$I_{xz} = \iiint_0^a_0^b_0^c xz \rho dx dy dz = \frac{m}{4} ac$$

$$I_{yz} = \iiint_0^a_0^b_0^c yz \rho dx dy dz = \frac{m}{4} ab$$

Productos de Inercia

Introducción a la dinámica de Robots

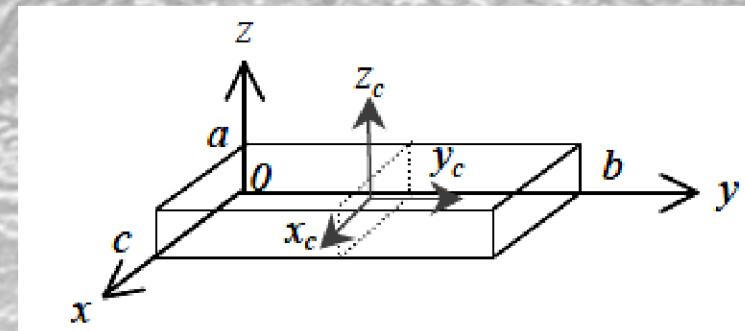
Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

Cálculo del Tensor de Inercia Brazo Rígido de dimensiones fijas y sección rectangular.

Tensor de Inercia del cuerpo

$$I_i = \begin{bmatrix} \frac{m}{3}(a^2 + b^2) & -\frac{m}{4}bc & -\frac{m}{4}ac \\ -\frac{m}{4}bc & \frac{m}{3}(a^2 + c^2) & -\frac{m}{4}ab \\ -\frac{m}{4}ac & -\frac{m}{4}ab & \frac{m}{3}(b^2 + c^2) \end{bmatrix}$$



Para calcular el tensor de inercia respecto del CM solo se tiene que cambiar los límites de integración.

$$I_{xy} = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-c/2}^{c/2} xy \rho dx dy dz = 0$$

$$I_{xz} = 0, I_{yz} = 0$$

Productos de Inercia

$$I_{xx} = \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-c/2}^{c/2} (y^2 + z^2) \rho dx dy dz = \frac{m}{12} (b^2 + a^2)$$

$$I_{yy} = \frac{m}{12} (a^2 + c^2), I_{zz} = \frac{m}{12} (b^2 + c^2)$$

Introducción a la dinámica de Robots

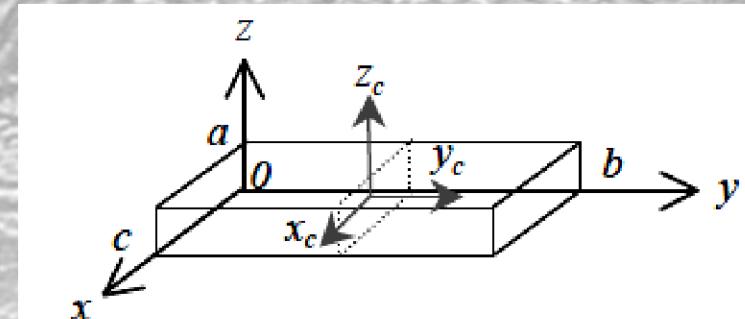
Análisis Dinámico

DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES

→ Cálculo del Tensor de Inercia Brazo Rígido de dimensiones fijas y sección rectangular.

Tensor de Inercia del cuerpo con CM

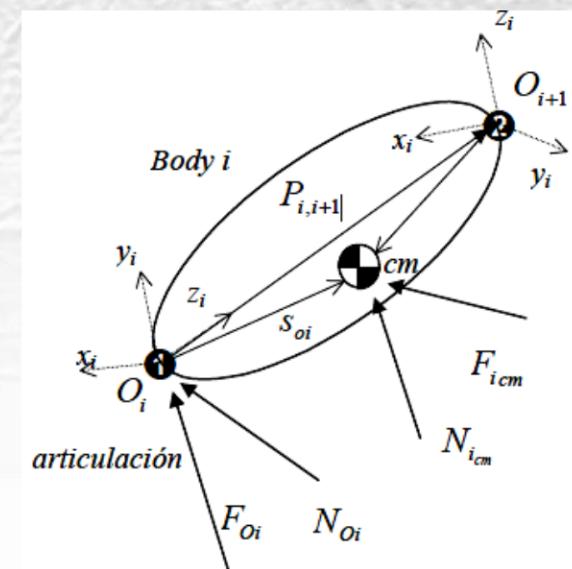
$$I_i = \begin{bmatrix} \frac{m}{12}(a^2 + b^2) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{12}(a^2 + c^2) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m}{12}(b^2 + c^2) \end{bmatrix}$$



Teorema de ejes paralelos define como el tensor de inercia cambia cuando el sistema de coordenadas de referencia se traslada. Considerando el CM el Tensor de Inercia respecto a otro eje de referencia es:

$$I_{\infty x_i} = I_{\infty_{cm}} + m(y_{cm}^2 + z_{cm}^2)$$

$$I_{\infty y_i} = I_{\infty_{cm}} - mx_{cm}y_{cm}$$



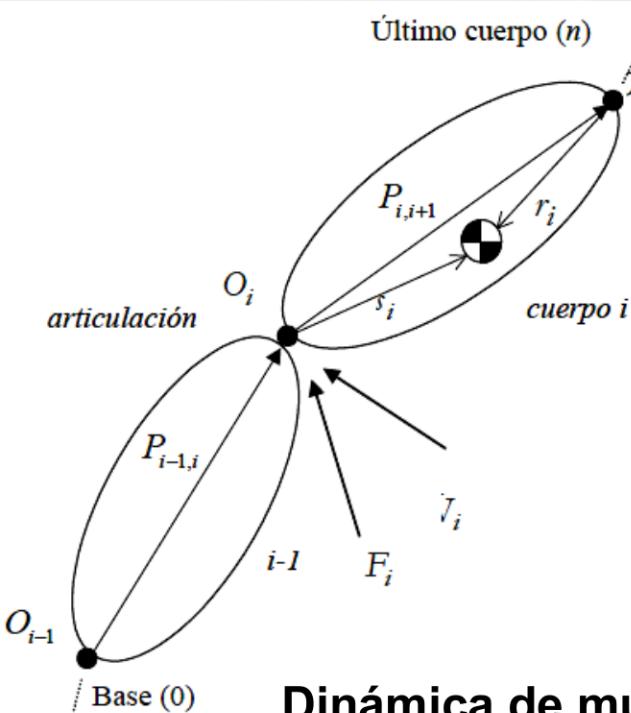
Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

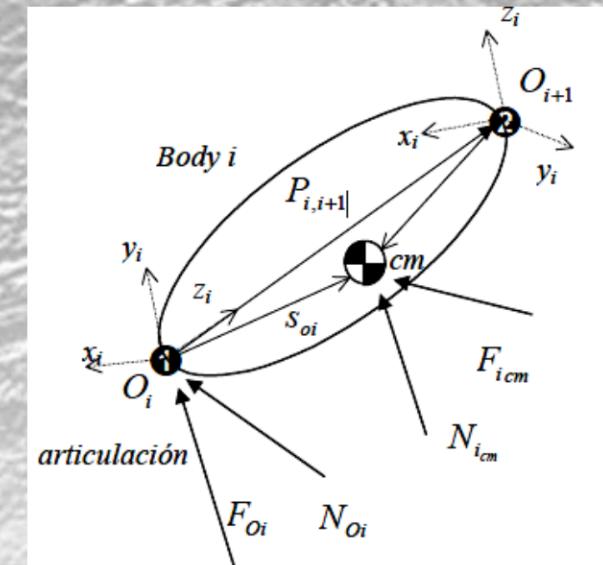
Dinámica del Cuerpo Rígido Sencillo

Los puntos O y CM pertenecen al cuerpo rígido.

Entonces: Velocidades de translación y rotación del cuerpo. Fuerzas de translación(f) y rotación (N) se relacionan entre sí



DISTRIBUCION DE MASA EN LOS ESLABONES



$$w_{i,cm} = w_{O_i}$$

$$v_{i,cm} = v_{O_i} + w_{O_i} \times s_{O_i,cm}$$

$$f_{O_i} = f_{cm}$$

$$N_{O_i} = N_{i,cm} + s_{O_i,cm} \times f_{i,cm}$$

La distribución de masa de cada elemento del multicuerpo se considera completamente caracterizada por ser cuerpos rígidos con centro de masa localizado y tensor de inercia definido

Condición de Rigididad.

Permite ecuaciones de movimiento sobre cualquier eje.

En Particular → las Articulaciones del Robot.

Dinámica de multicuerpos (eslabones) seriales rígidos

Introducción a la Dinámica de Robots



Sistemas de Transmisión y Reducción

Sistemas de Accionamiento



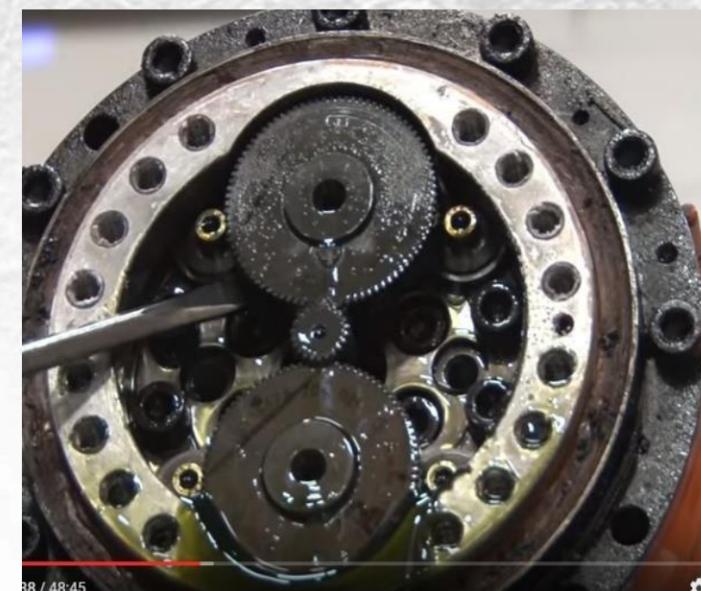
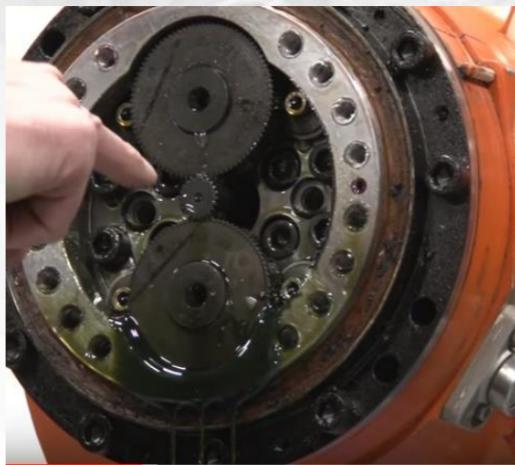
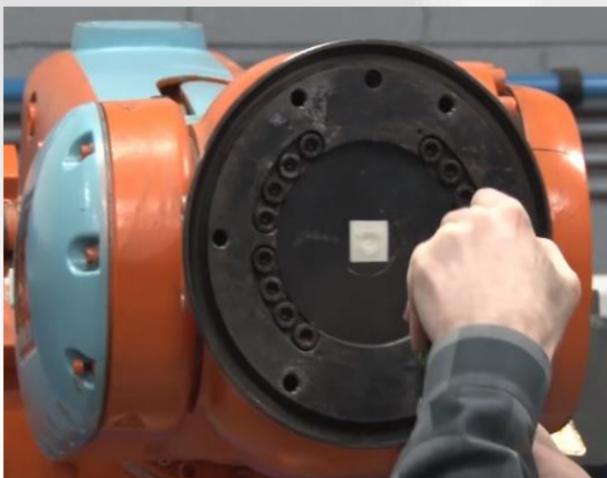
Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Selección del Accionamiento. Transmisión



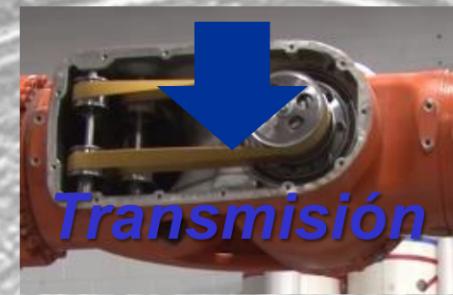
Transmisión



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Selección del Accionamiento. Transmisión



Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Selección del Accionamiento (Actuadores). Transmisión



**Torque Efectivo
(T_e)**

**Torque en Articulación
(T_a)**

**Torque en el Actuador
(T_m)**

Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Selección del Accionamiento (Actuadores). Transmisión



Torque en la Articulación
¿ = ?
Torque en el Actuador



Introducción a la dinámica de Robots

TRANSMISIONES Y REDUCCIONES

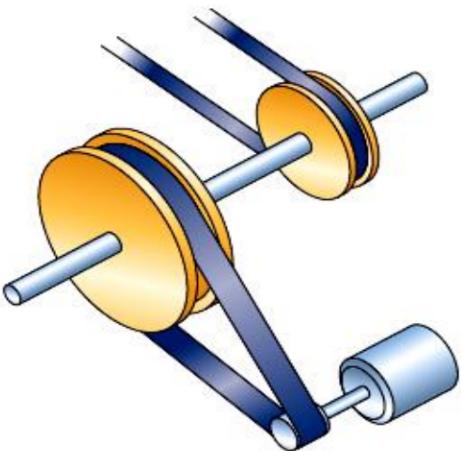


- **Traslación - Rotación**
- **Rotación - Rotación**
- **Traslación - Traslación**
- **Rotación - Traslación.**

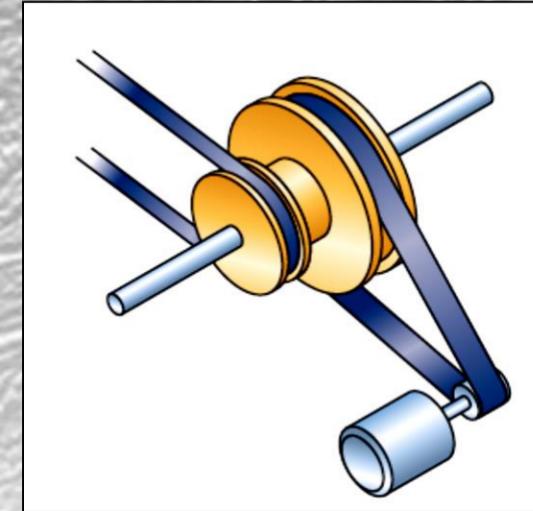
TRANSMISIÓN	ELEMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Traslación-Rotación	Piñón-cremallera Bielas-manivela	Par medio Par alto	Control Rozamiento
Rotación-Traslación	Tornillo Sin Fin Cremallera	Poco huelgo Poco huelgo	Rozamiento Rozamiento
Rotación-Rotación	Engranajes Ruedas de fricción Correas, Cadenas, Polea Sistema Paralelogramo	Par alto Par medio-bajo Distancias grandes Inversión movimiento	Huelgos Ruido Velocidad, deslizamiento Movimiento limitado

Introducción a la dinámica de Robots

TRANSMISIONES – ACOPLAMIENTO ENTRE ARBOLES

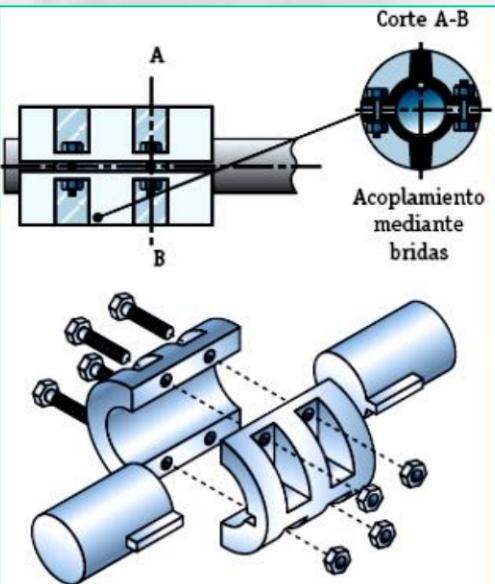


árbol sometido a torsión

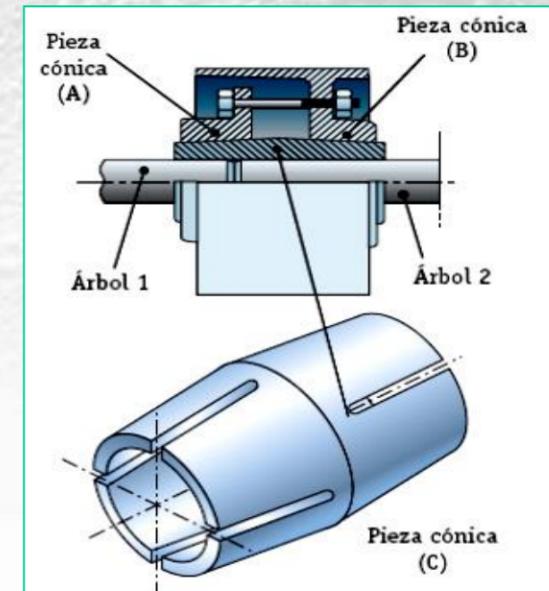


árbol no sometido a torsión

TRANSMISIONES - ACOPLAMIENTOS RÍGIDOS



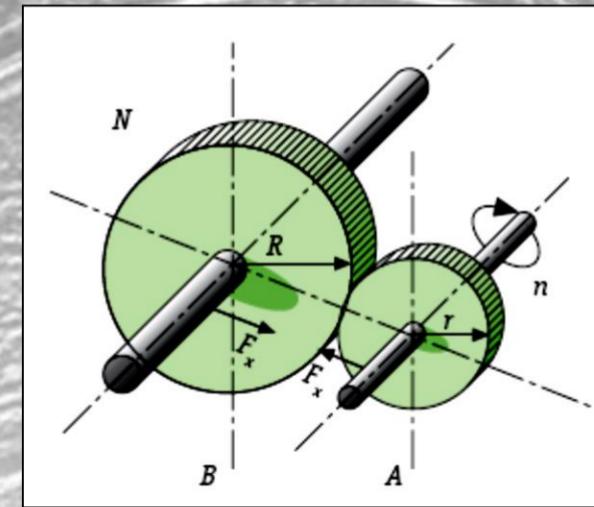
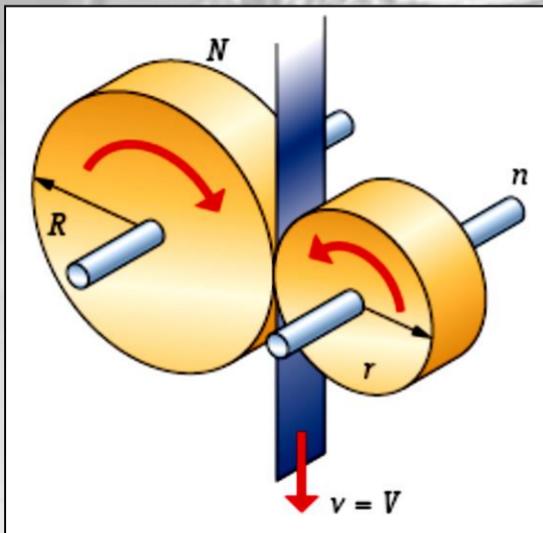
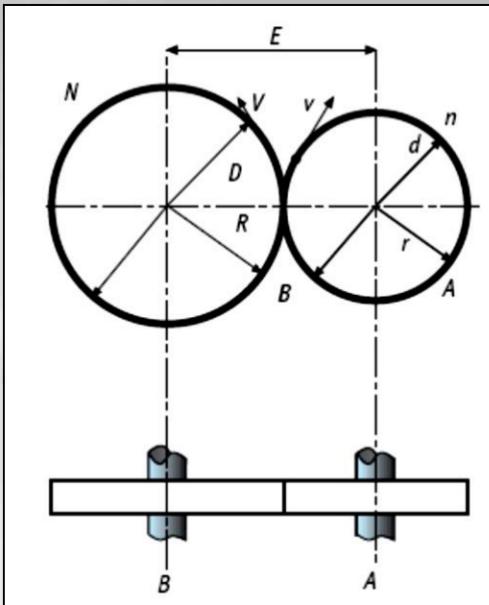
Los árboles están en el mismo
eje geométrico (alineados)



Introducción a la dinámica de Robots

TRANSMISIONES – ACOPLAMIENTO ENTRE ARBOLES

RUEDAS DE FRICCIÓN. Consiste en transmitir el movimiento entre dos ruedas gracias a la fuerza de rozamiento. Externas e Internas



$$F_x = \frac{60 P}{2 \pi n r \mu} ;$$

- n = número de revoluciones por minuto (rpm)
 r = radio de la rueda conductora (en m)
 μ = coeficiente de rozamiento (entre 0 y 1)
 P = potencia a transmitir (en W)
 F_x = fuerza axial (en N)

Introducción a la dinámica de Robots

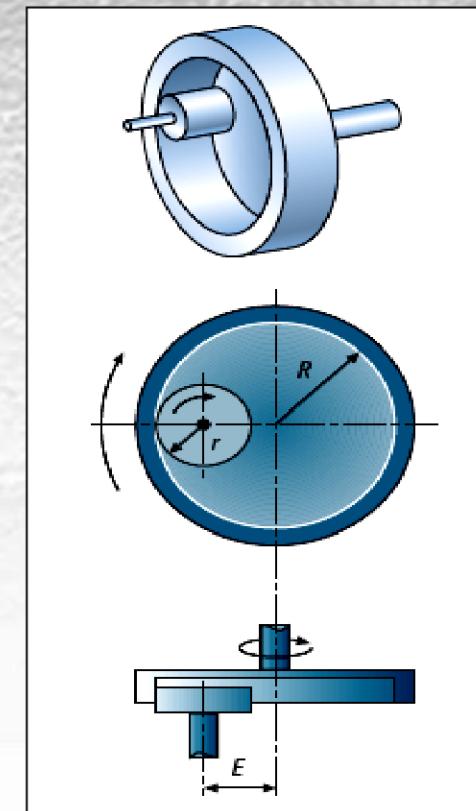
SISTEMAS DE TRANSMISION - RUEDAS DE FRICTION INTERIOR



$$i = \frac{r}{R} = \frac{d}{D} = \frac{N}{n}$$

A large grey tire tread pattern is shown with a purple curved arrow above it, indicating clockwise rotation. To the right is a rectangular box containing the formula:

$$E = R - r = \frac{(D - d)}{2}$$



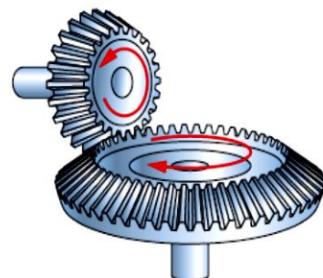
SISTEMAS DE TRANSMISION - POLEAS Y CORREAS

Introducción a la dinámica de Robots

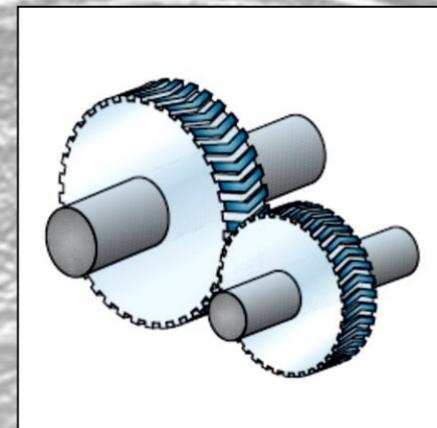
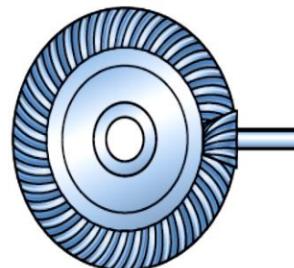
SISTEMAS DE TRANSMISION – ENGRANAJES

Engranajes cónicos

De dientes rectos



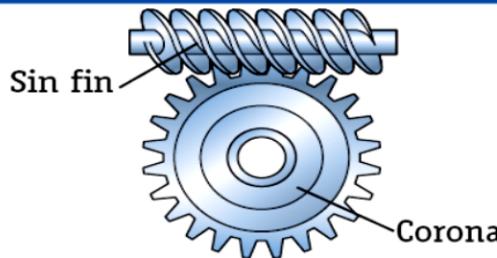
De dientes helicoidales



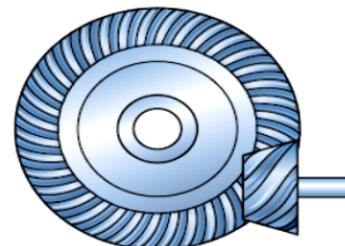
ENGRANAJES ENTRE EJES

PERPENDICULARES QUE SE CRUZAN.

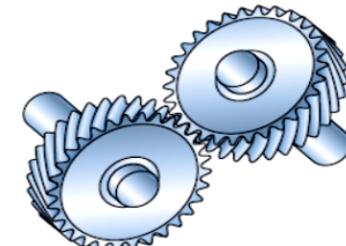
Tornillo sin fin-corona



Hipoide



Engranaje helicoidal



El movimiento solamente se transmite de la corona al tornillo y nunca al revés. Esto lo hace muy adecuado para uso en tornos que suben agua o materiales de construcción, ascensores, etcétera.

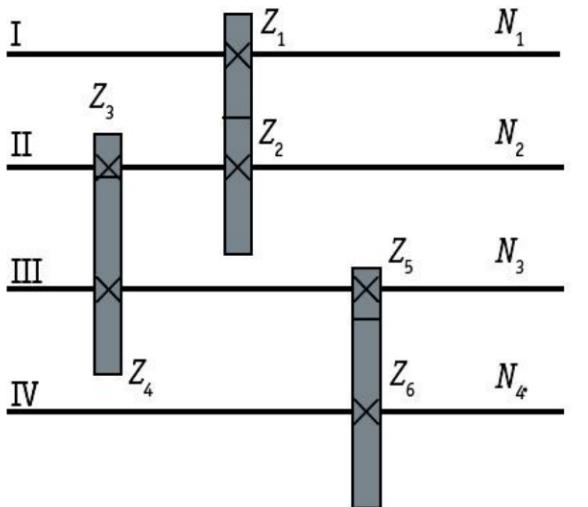
Se trata de dos engranajes cónicos helicoidales. Uno de ellos se ha desplazado para que no se corten sus ejes geométricos.

El ángulo que forman los engranajes es opuesto. La suma algebraica (ángulo de uno menos ángulo de otro) es igual al ángulo que forman sus ejes.

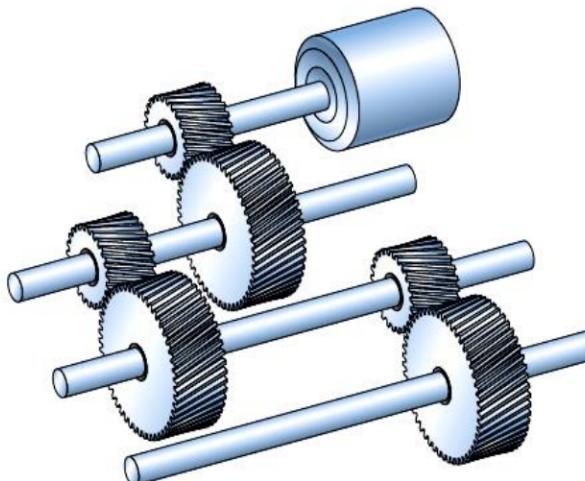


Introducción a la dinámica de Robots

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN – TREN DE ENGRANAJES



Motor



- Relación de transmisión entre los ejes I y II:

$$i_{I-II} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_2}{N_1} ; \quad N_2 = \frac{Z_1}{Z_2} N_1$$

- Relación de transmisión entre los ejes II y III:

$$i_{II-III} = \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{N_3}{N_2} ; \quad N_3 = \frac{Z_3}{Z_4} N_2$$

- Relación de transmisión entre los ejes I y III:

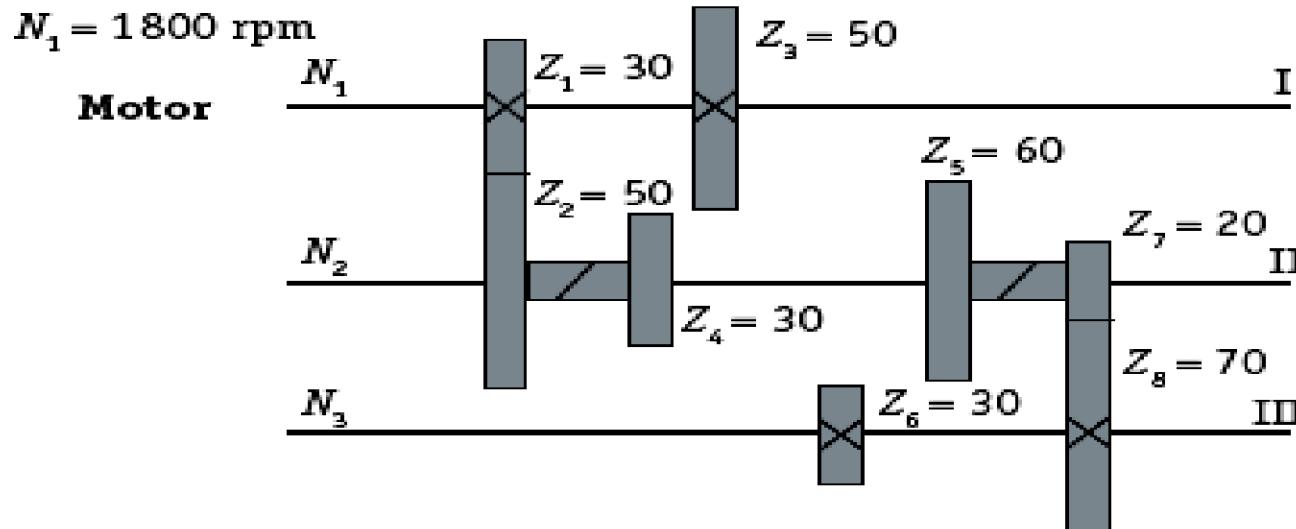
$$i_{I-III} = \frac{N_3}{N_1} = \frac{(Z_3 / Z_4) N_2}{N_1} = \frac{(Z_3 / Z_4) (Z_1 / Z_2) N_1}{N_1} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4} = i_{I-II} i_{II-III}$$

$$N_4 = (Z_1 / Z_6) N_1$$

Importante



SISTEMAS DE TRANSMISION – TREN DE ENGRANAJES . REDUCTORES

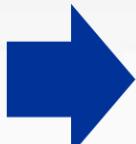


Eje III tiene como velocidad final las posibles soluciones: 2.160 rpm; 308,57rpm; 6.000 rpm y 857,14 rpm.

Importante



El eje conducido pueda modificar su velocidad y torque según las necesidades de carga.



En robótica el reductor juega un rol muy importante en la transmisión de fuerza y movimiento.

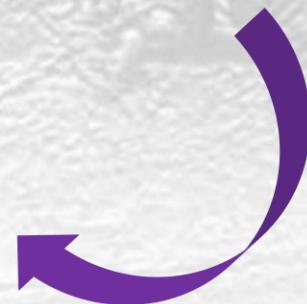


Introducción a la dinámica de Robots

Análisis Dinámico

Selección del Accionamiento

ACTUADORES

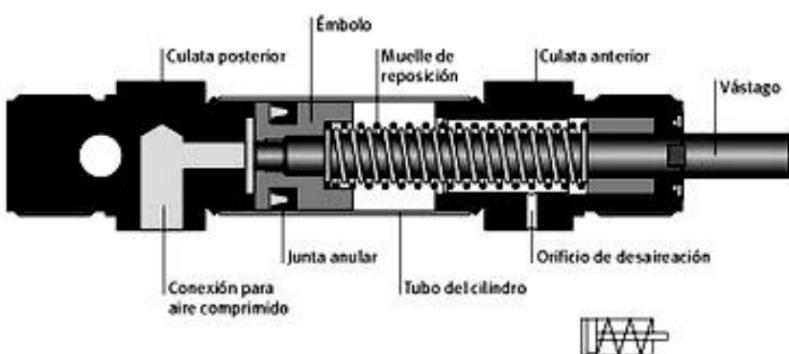


FUENTE/ACCIONAMIENTO	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO	ELÉCTRICO
ENERGÍA	Aire a presión (5 a 10 bar)	Aceite mineral (50 a 100 bar)	Corriente eléctrica
OPCIONES	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso
VENTAJAS	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Alta potencia Estables Auto-lubricados	Precisos Confiables Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
DESVENTAJAS	Control continuo complejo Instalaciones costosas Ruidosos	Difícil mantenimiento Instalaciones costosas Caros Lentos	Potencia limitada

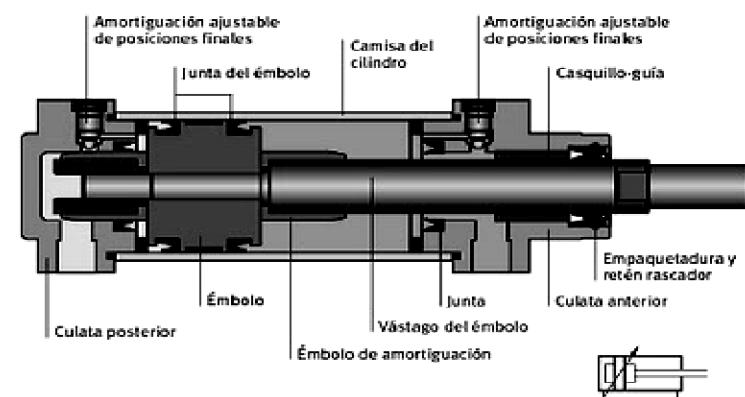
Introducción a la dinámica de Robots

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTOS

Actuadores Neumáticos

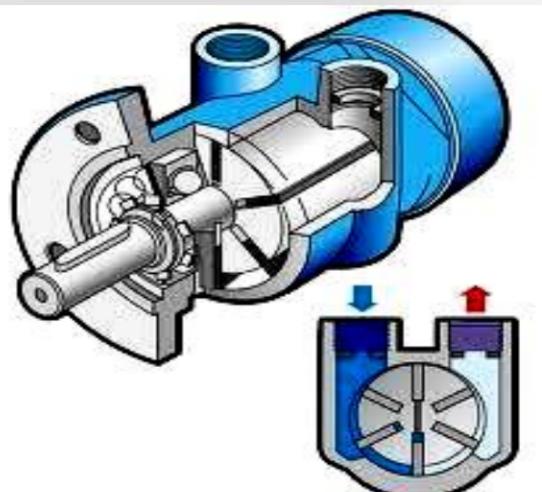


Cilindro neumático Simple Efecto



Cilindro neumático Doble Efecto

Desventaja: Mala Precisión Final. Ruidos. Robustos. Pesados
Ventajas: Fácil funcionamiento. Fiables



**Motores neumáticos.
De Paleta y de Pistón
Igualas características**



Introducción a la dinámica de Robots

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTOS

Actuadores Hidráulicos



Ventajas

Altos índices entre potencia y carga.

Mayor exactitud.

Respuesta de mayor frecuencia.

Desempeño suave a bajas velocidades.

Amplio rango de velocidad.

Mas fuerza que un sistema neumático de mismo tamaño.

Desventajas

Filtrado de partículas.

Eliminación de aire.

Sistemas de refrigeración.

Unidades de control de distribución.



Introducción a la dinámica de Robots

Actuadores Hidráulicos

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTOS

EJEMPLOS

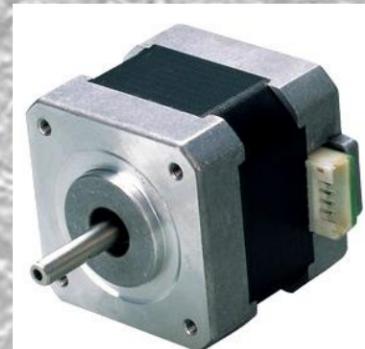
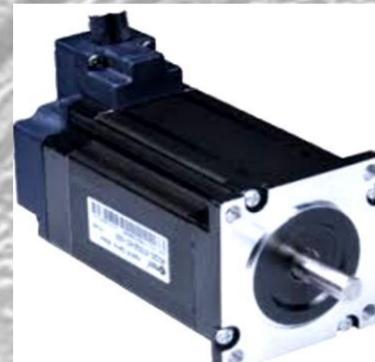
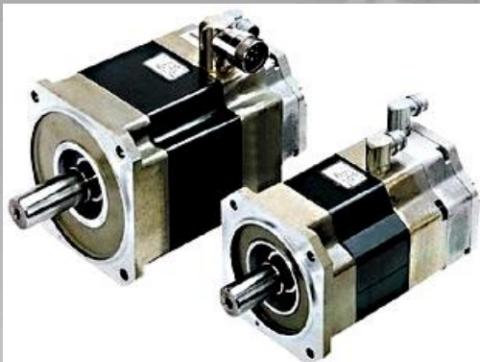


Introducción a la dinámica de Robots

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTOS

Actuadores Eléctricos

VENTAJAS



Ventajas

*Alta Precisión. Exactitud
Respuesta de mayor frecuencia.
Fácil Control. Confiables.
Instalación y fácil mantenimiento.
Mas silenciosos en comparación.*



Introducción a la dinámica de Robots

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTOS

Actuadores Eléctricos

DESVENTAJAS



Desventajas. Mantenimiento frecuente. Potencia limitada.

MODELO MATEMÁTICO

Un motor DC puede modelarse matemáticamente como una función de transferencia de primer orden de la forma

Donde: $Y(s)$ es el par mecánico generado por el motor y $u(s)$ el voltaje aplicado para que el actuador. La respuesta del motor es muy rápida en comparación con la respuesta del sistema completo. Se simplifica la ecuación. K : es la constante de ganancia (difícil de determinar)

$$Y(s) = \frac{k}{\tau s + 1} u(s)$$

$$Y(s) = u(s)k$$

$$Y(k) = G(h)u(k) + v(k)$$

Donde: $Y(k)$ es la señal de salida; $G(h)$ representa el sistema dinámico .
 $u(k)$ las señales de entrada (voltajes en los actuadores de cada articulación).
Todas estas son componentes determinísticos.
 $v(k)$ es una señal estocástica que representa el ruido.



DETERMINACIÓN DE LA FUERZA EN LOS ACTUADORES

Los actuadores lineales son óptimos para el accionamiento de articulaciones prismáticas, puesto que estos son capaces de ejercer una fuerza F en el mismo sentido en la que se moverá la articulación, y solo es necesario tener en cuenta que el actuador sea capaz de ejercer la fuerza necesaria para accionar dicha articulación a la velocidad requerida.



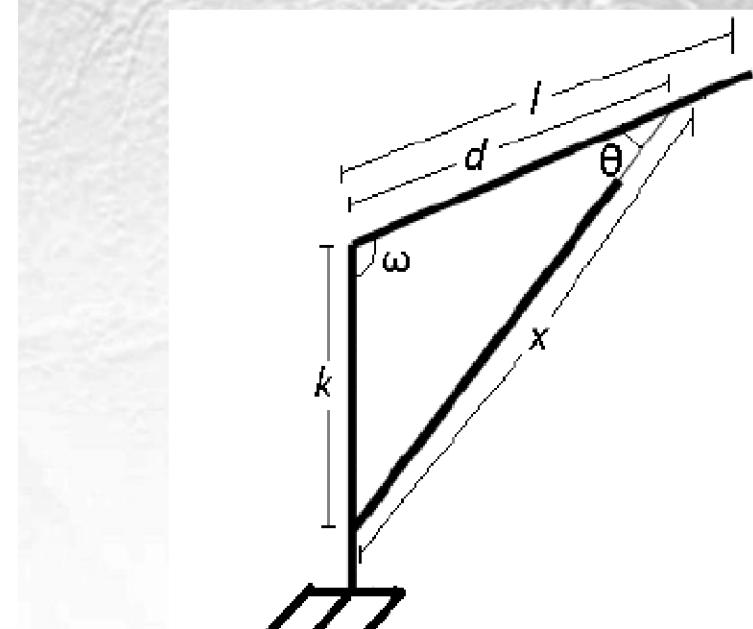
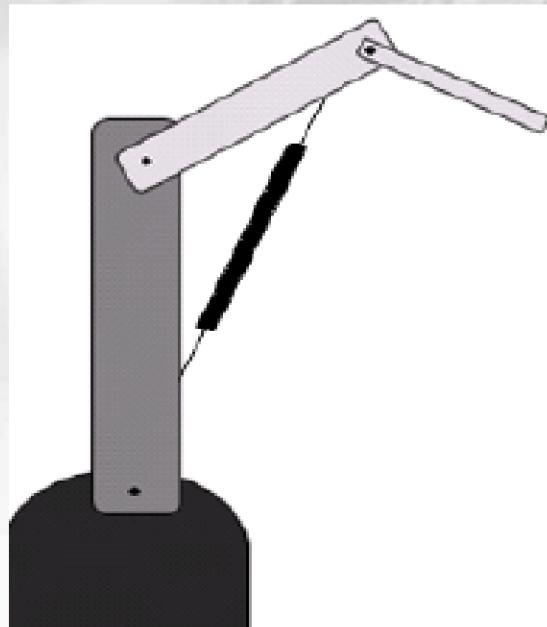
Los actuadores de rotación. Se necesita determinar si la fuerza de este tipo de actuadores son capaces de ejercer el par necesario para accionar la articulación.



DETERMINACIÓN DE LA FUERZA EN LOS ACTUADORES

Actuadores de rotación. Un ejemplo es un Robot angular

- d*** es la distancia que hay entre la articulación y el punto de apoyo del motor y el eslabón movido.
- k*** la distancia que hay entre la articulación y el punto de apoyo del motor y el eslabón anterior al que se va a mover.
- θ*** ángulo formado por el motor y el eslabón accionado.
- ω*** ángulo formado en la articulación.
- l*** la longitud del eslabón.



Introducción a la dinámica de Robots

DETERMINACIÓN DE LA FUERZA EN LOS ACTUADORES

La fuerza útil que ejerce el motor es la fuerza sobre el eje y. Esta fuerza queda descrita por la ecuación

$$F_y = F_m \operatorname{sen} \theta$$

El par necesario para el accionamiento de la articulación:

$$\tau = F_m d \operatorname{sen} \theta$$

Según el triángulo formado por los eslabones de la articulación y el motor (teorema del coseno) se describe que

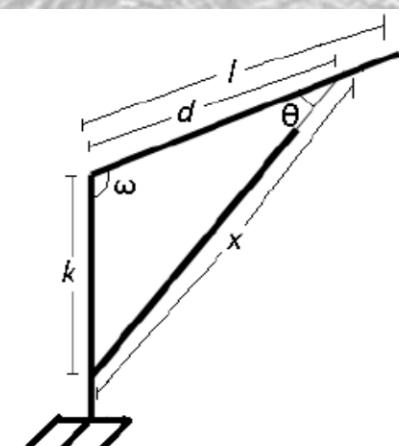
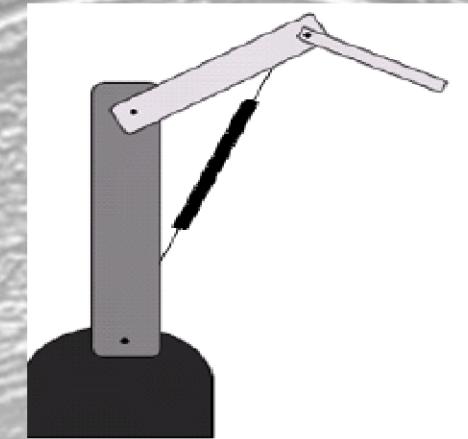
$$x^2 = d^2 + k^2 - 2dk \cos \omega$$

$$\omega = \arccos\left(\frac{d^2 + k^2 - x^2}{2dk}\right)$$

La fuerza necesaria para accionar la articulación en función de la distancia , el motor queda definido por:

$$\tau = F_m d \frac{k}{x} \operatorname{sen} \omega$$

$$F_m = \frac{x\tau}{kd \operatorname{sen} \left[\arccos\left(\frac{d^2 + k^2 - x^2}{2dk}\right) \right]}$$



$$F_m = \frac{\tau \sqrt{d^2 + k^2 - 2dk \cos \omega}}{kd \operatorname{sen} \omega}$$

BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

Bibliografía Básica y de Referencia

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares Biblioteca	Unid. <u>Prog</u>
B. Ollero	Robótica	Alfaomega	2007	1	2-3-5
J. Craig	Robótica.	Pearson	2006	1	2-3
A. Barrientos et all	Fundamentos de Robótica.	McGraw Hill	2007	1	1-2-3-5
Ollero Baturone	Robótica. Manipuladores y robot móviles	Alfaomega	2007	1	2-3-4
Angulo, Yesa, Martínez	Microrobótica.	Thomson.	2002	---	
W. Bolton	Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica.	Alfaomega (3era. <u>ed.</u>)	2006	1	2-3
J. Angulo	Robótica Práctica. Tecnologías y Aplicaciones.	Paraninfo	1986	1	1-2
M. Groover, Weiss Nagel & N. Odrey	Robótica Industrial. Tecnología, Programación y Aplicaciones.	McGraw Hill	1989	1	3-4
F. Cembranos Nistal	Sistemas de Control Secuencial.	Thomson	2002	1	2-3
Fernando Reyes Cortés	Robótica: Control de Robots Manipuladores	Alfaomega	2011	---	
Tomás de J. Mateo Sanguino	Robótica Móvil. Principios, Tendencias y Aplicaciones: Cinemática, Filtro de Partículas, Inteligencia Artificial	Createspace	2014	---	4-5
Hibbeler	Mecánica vectorial para ingenieros: dinámica	Pearson	2004	---	1-2
Boresi, Schmit	Ingeniería Mecánica. Dinámica	Thomson	2001	1	1-2
Norton, Robert	Diseño de Maquinaria	Mc Graw Hill	2005	1	1-2
Pérez. González	Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros	Mc Graw Hill	1999	1	1-2

Bibliografia Complementaria: Documentos de la Universidad de Ingenieria y Tecnologia. Perú y Uruguay
Documentos de Massachusetts Institute og Technology. EEUU

UNIDAD1. Introducción a la dinámica de Robots

MUCHAS GRACIAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO