

Robótica / Sistemas Robotizados



ROBOTS MANIPULADORES INDUSTRIALES

Martin Mellado

martin@ai2.upv.es

<http://personales.upv.es/mmellado>



Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISA)
Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2)
Universitat Politècnica de València (UPV)



Robots manipuladores industriales



OBJETIVOS

- Conocer las configuraciones de robots manipuladores industriales más comunes
- Saber las especificaciones técnicas de los robots manipuladores industriales
- Entender los métodos de programación de robots
- Aprender una metodología adecuada de programación de aplicaciones industriales



Robots manipuladores industriales



CONTENIDOS

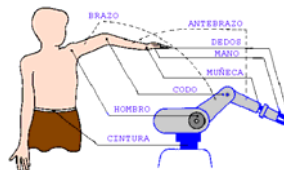
1. Configuraciones de brazo y muñeca
2. Especificaciones técnicas
3. Programación de robots

1 Configuraciones de brazo y muñeca

Robot Manipulador Industrial:

- ISO 8373: *un manipulador programable en tres o más ejes, controlado automáticamente, reprogramable y multifuncional, que puede estar fijo en un lugar o móvil para uso en aplicaciones automáticas de la industria*

- En cierta forma, diseñado a semejanza del cuerpo humano



Cortesía Kuka

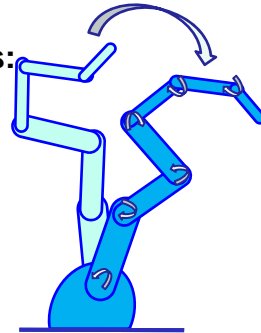
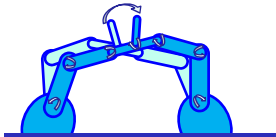
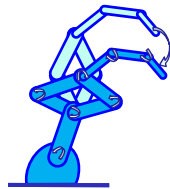
Configuraciones de brazo y muñeca

Cadena cinemática abierta:

- Base: extremo fijo; elemento terminal: extremo libre
- Las tres primeras articulaciones forman el **brazo**:
 - Posicionan un punto en el espacio
- El resto de articulaciones forman la **muñeca**:
 - Reorientan el elemento terminal

Pueden haber bucles o lazos interiores:

- Paralelogramos
- Incluso estructuras paralelas



Configuraciones de brazo y muñeca

Para trabajar en el espacio 3D se necesitan:

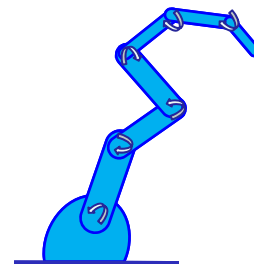
- 3 grados de libertad para fijar posición (XYZ)
- 3 grados de libertad para fijar orientación (3 ángulos)
- Los robots, en general, tienen 6 ejes de movimientos
- Cuando la aplicación no requiera tantos grados de libertad, se pueden usar robots con menos ejes

Robots redundantes:

- Más de 6 ejes
- Presentan múltiples soluciones

No son ejes del robot:

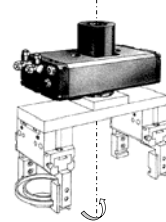
- Movimientos de la herramienta
- Ejes externos



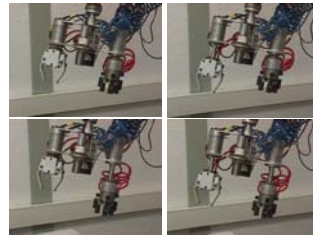
Configuraciones de brazo y muñeca

Movimientos de la herramienta

- De operación propios:
 - Apertura/cierre de pinza
 - Apertura/cierre de garra de soldadura
 - Rotación de un motor (sierra de corte)
 - ...
- Ejes de movimiento en la herramienta
 - Para aumentar su flexibilidad
 - Lineales / de revolución



Cortesía ABB



Configuraciones de brazo y muñeca

Ejes externos



4 robots en track (Fanuc)



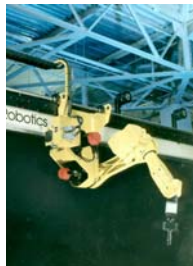
Track pendular (Fanuc)



Track circular (ABB)



Cortesía Kuka



Cortesía Fanuc



Cortesía Motoman



Configuraciones de brazo y muñeca

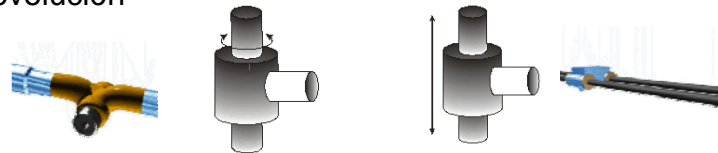
Según el tipo de articulación en brazo y en muñeca se tienen diferentes configuraciones:

Brazo:

- RRR: 3 articulaciones de revolución
- RRP
- RPP
- PPP: 3 articulaciones prismáticas

Muñeca:

- Al servir para reorientar, sólo se usan articulaciones de revolución



Configuraciones del brazo

Robot angular (articulado, de revolución o antropomórfico):

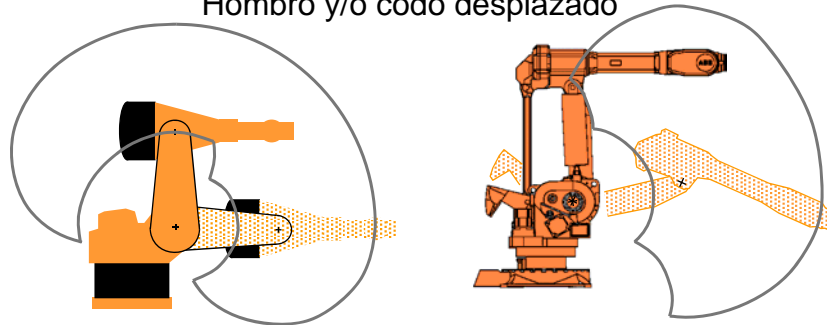
RRR: vertical de cadera, horizontales de hombro y codo

Brazo-robot más común

Volumen de trabajo prácticamente esférico

Opciones: Con/sin paralelogramo

Hombro y/o codo desplazado



Configuraciones del brazo

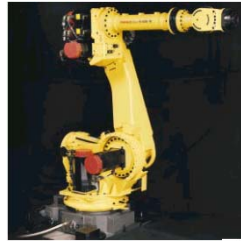
Robots angulares sin paralelogramo



Robot angular (ABB)



Robot angular colaborativo (UR)



Cortesía Fanuc



Cortesía ABB



Cortesía Kuka



Cortesía Motoman



Cortesía Kawasaki



Cortesía Nachi



Cortesía Staubli



Cortesía Reis

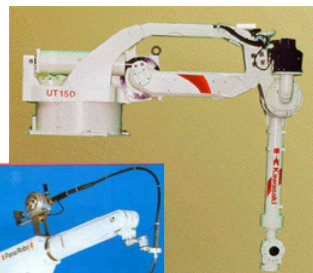
Robots manipuladores industriales

11



Configuraciones del brazo

Robots angulares con paralelogramo



Cortesía Kawasaki



Cortesía Panasonic



Robot angular con paralelogramo (ABB)



Cortesía ABB

Robots manipuladores industriales

12



Configuraciones de la muñeca

Muñeca en línea (*in-line*) o muñeca RPY (*roll-pitch-yaw*)

Tres ejes de giro perpendiculares (con punto común)

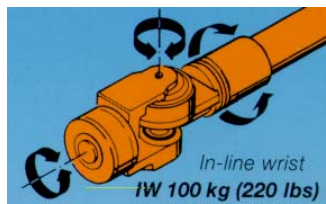
Muñeca más usada (facilidad de construcción y economía)

Problemas: rango limitado

existe configuración degenerada



Cortesía ABB



Cortesía Kuka



Muñeca en línea con rango limitado (Staubli)

Configuraciones de la muñeca

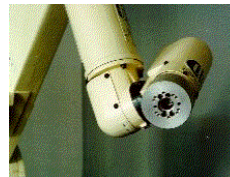
Muñeca desplazada (*offset wrist*)

Configuración en línea con último eje desplazado

Rango ilimitado y mayor volumen de trabajo de la muñeca



Cortesía Kuka



Cortesía Comau



Cortesía Kuka



Cortesía Comau



Muñeca desplazada (Fanuc)

Configuraciones de la muñeca

Muñeca tres giros o de triple giro (*triple roll wrist*)

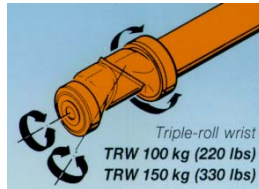
3 ejes de giro no perpendiculares (hay opción desplazada)

Construida con 4 articulaciones acopladas (cara y compleja)

Rango ilimitado y mayor volumen de trabajo de la muñeca



Cortesía Kuka



Cortesía Kuka



Cortesía ABB



Cortesía Nachi



Cortesía Motoman



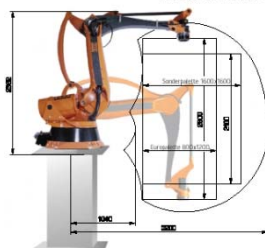
Muñeca triple giro (Fanuc)

Configuraciones del brazo

Robots angulares con doble paralelogramo



Cortesía ABB



Cortesía Kuka



Cortesía Fanuc



Robot de paletizado (Fanuc)



Cortesía Motoman

Configuraciones de la muñeca

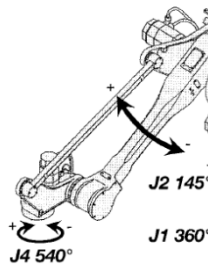
Muñeca de giro (roll)

Un único eje de giro

Siempre perpendicular a la brida final del robot

Opción con paralelogramo en la unión al brazo

Hay una articulación previa, no motorizada, con enlace mecánico que garantiza la orientación fija



Cortesía Fanuc

Configuraciones del brazo

Robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm):

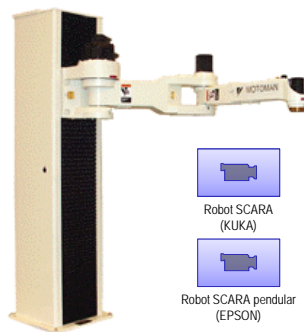
RRP: Verticales de cadera y codo, extensión vertical

Volumen de trabajo cilíndrico

Opciones RRP y PRR



Cortesía Adept



Cortesía Motoman



Robot SCARA (KUKA)



Robot SCARA pendular (EPSON)



Cortesía AEG



SR8437
Cortesía Sanyo

Configuraciones de la muñeca

Muñeca de giro (roll)

Un único eje de giro

Perpendicular a la brida final del robot

Robots de 4 ejes (cartesianos, SCARAS y deltas)

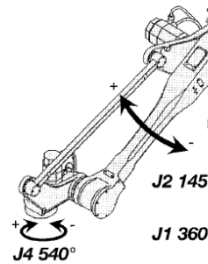
Opción con paralelogramo

Robots angulares de doble paralelogramo



SR8438

Cortesía Sankyo



Cortesía Fanuc

Configuraciones del brazo

Robot cartesiano:

PPP: tres ejes prismáticos ortogonales

Volumen de trabajo prismático

Robustos de grandes cargas

Opción portada



Cortesía Wittmann



Cortesía Sankyo



Robot de cartesiano (Decsia)



Cortesía ABB



Cortesía Reis

Configuraciones del brazo

Robot angular redundante (doble)



Cortesía Yaskawa



Robot redundante (Yaskawa)



Robot redundante doble (Yaskawa)



Robot redundante colaborativo (KUKA)



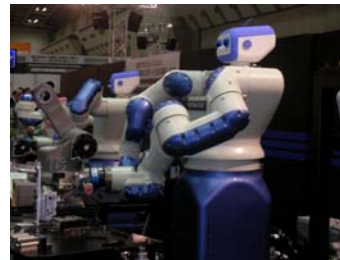
Ventajas robot redundante (Yaskawa)



Aplicaciones robot redundante doble (Yaskawa)



Robot redundante doble colaborativo (ABB)



Configuraciones del brazo

Robot SCARA de brazo doble



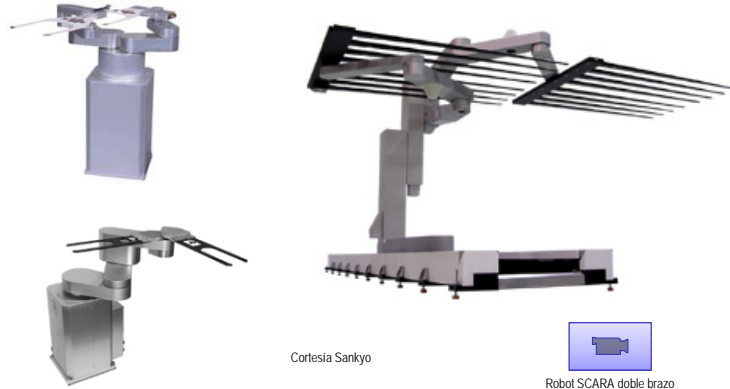
Robot SCARA doble (Sankyo)



Cortesía Mitsubishi

Configuraciones del brazo

Robot SCARA de doble brazo



Cortesía Sankyo

Robot SCARA doble brazo

Configuraciones del brazo

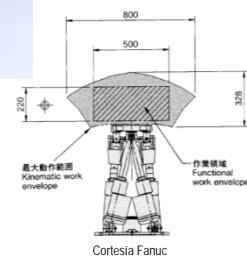
Robots con estructuras paralelas



Cortesía SEF



Cortesía Fanuc



Cortesía Fanuc

Configuraciones del brazo

Robots delta



Cortesía ABB



Cortesía ABB



Robot delta
(ABB)

Configuraciones del brazo

Robots delta



Cortesía Siemens



Cortesía Schneider



Robot delta
(Bosch)



Cortesía Bosch

Configuraciones del brazo

Robots delta



Cortesía Adept



Robot delta
(Adept)

Configuraciones del brazo

Robots delta



Cortesía Ulma



Robot delta
(ULMA)

Configuraciones más comunes

BRAZO

Angular
(con doble paralelogramo)

SCARA

Cartesiano

Delta

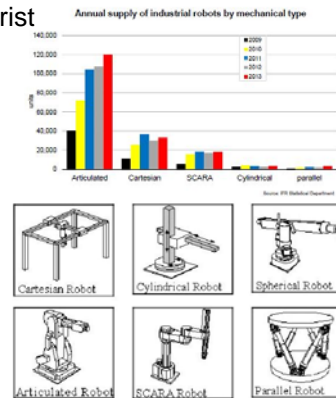
MUÑECA

In-line
Roll
Triple-Roll Wrist
(Offset)

Roll

Roll
In-line
(Ninguna)

Roll



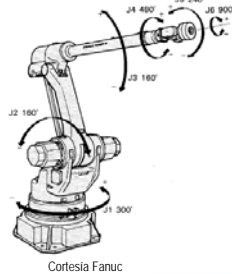
Configuraciones más comunes

Volúmenes de trabajo

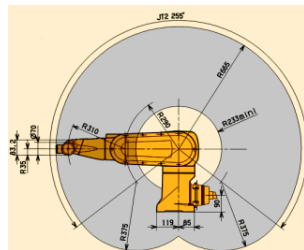
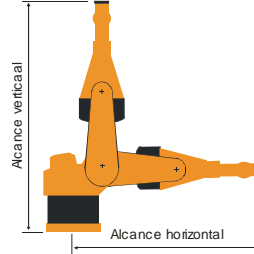


2 Especificaciones técnicas

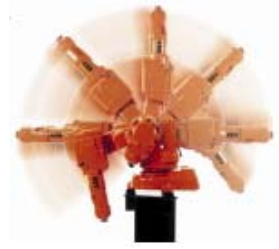
- Ejes de movimiento
- Volumen de trabajo
- Alcance



Cortesía Fanuc



Cortesía Staubli



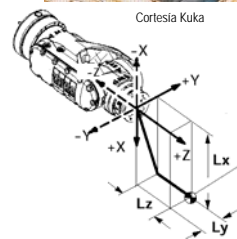
Cortesía ABB

Especificaciones técnicas

Carga

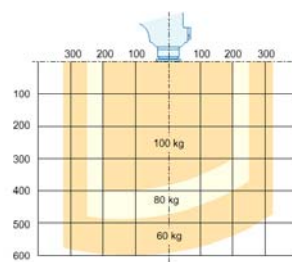


Cortesía Kuka

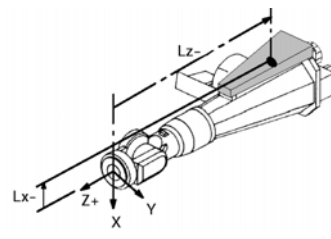


Cortesía Kuka

Carga
(herramienta + pieza)



Cortesía Motoman



Especificaciones técnicas

Clasificación por carga y alcance

Robot angulares según carga soportada y su alcance:
(las barreras son estimativas):

- **Robots compactos:** alcance hasta medio metro y hasta 5 Kg de carga
- **Robots pequeños:** alcance hasta metro y medio y hasta 10 Kg de carga
- **Robots medianos:** alcance hasta dos metros y hasta 100 Kg de carga
- **Robots pesados:** alcance mayor de 2 metros y más de 100 Kg de carga

SCARA: cargas pequeñas o como mucho medias (hasta 25 Kg)

ROBOTS CARTESIANOS DE TIPO PORTICADO:

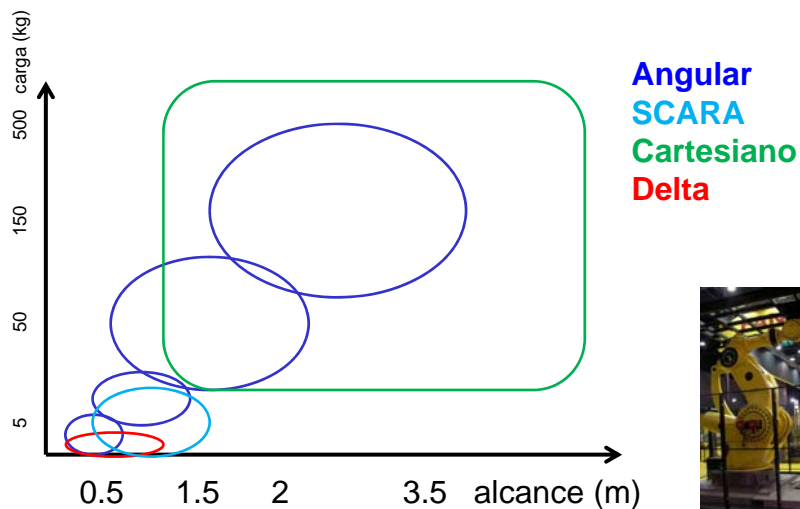
pueden llegar en versiones especiales a soportar más de una tonelada de carga

DELTA: soportan cargas muy pequeñas (hasta 3Kg)



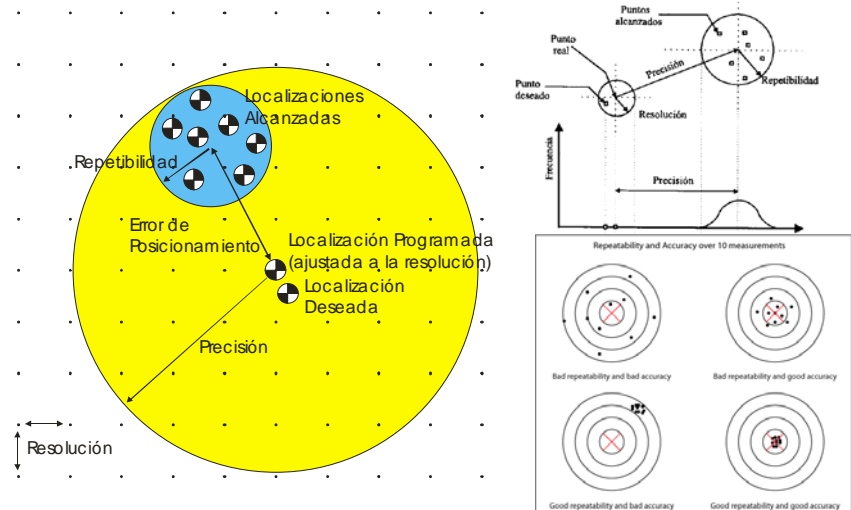
Especificaciones técnicas

Clasificación por carga y alcance



Especificaciones técnicas

Precisión y repetibilidad

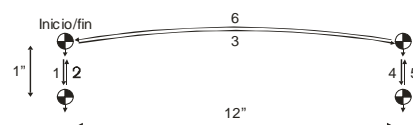


Especificaciones técnicas

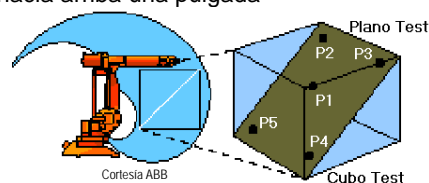
Velocidades y aceleraciones

- Tiempo del ciclo "*pick & place*":
Tiempo (en segundos) que tarda un robot en ejecutar la siguiente secuencia de movimientos:

- 1 Mover la herramienta en línea recta hacia abajo una pulgada
- 2 Agarrar una carga dentro de su rango nominal
- 3 Mover la herramienta en línea recta hacia arriba una pulgada
- 4 Mover la herramienta libremente en horizontal 12 pulgadas
- 5 Mover la herramienta en línea recta hacia abajo una pulgada
- 6 Soltar la carga
- 7 Mover la herramienta en línea recta hacia arriba una pulgada
- 8 Volver a la posición de inicio



- Test ISO



Especificaciones técnicas

Sistema de control

- Sistemas de control cerrados por el propietario
- Apertura a arquitecturas PC en hardware
- RTOS Comerciales (VxWorks)



Cortesía Fanuc



Cortesía ABB



Cortesía Kuka

Especificaciones técnicas

Unidad de Programación (Teach Pendant)



Cortesía Millacron



Cortesía Wittmann



Cortesía Staubli



Cortesía Kawasaki



Cortesía Fanuc



Cortesía Motoman

Especificaciones técnicas

Unidad de Programación (*Teach Pendant*)



Cortesía ABB



Joystick 3D



Cortesía Kuka



Ratón 6D



Nuevas tendencias (KEBA y ABB)

3 Programación de robots

Rendimiento de un sistema robotizado \longleftrightarrow programación

Problemática:

- Complejidad del sistema
- Representación tridimensional y visión espacial
- Diversidad de marcas, modelos y configuraciones
- Alternativas específicas de cada aplicación concreta
- Integración con otros dispositivos
- Aplicaciones con sensorización externa



El chip prodigioso

SEGURIDAD



Robocoaster



Colisiones



Robots colaborativos



Métodos de programación de robots

Primera clasificación:

- Programación directa o en línea (*on-line*)
- Programación indirecta o fuera de línea (*off-line*)
- Programación híbrida

Segunda clasificación:

- Programación por guiado
- Programación textual

Nivel de Robot
Nivel de Objeto
Nivel de Tarea

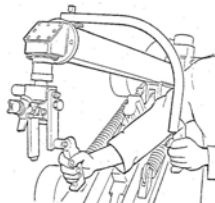


Cortesía Reis

Métodos de programación de robots

Programación por Guiado

- Proceso de enseñanza y repetición
- Uso de la unidad de control a pie de robot



enseñanza pasiva



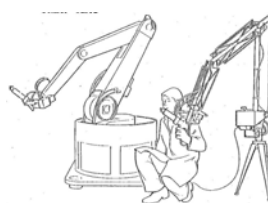
Pintura (ABB)



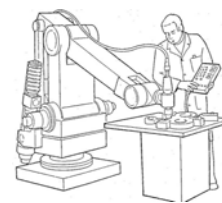
Soldadura (Robotiq)



Ensamblado (KUKA)



maestro-esclavo



enseñanza activa



Métodos de programación de robots

Programación Textual

- Programas de robot escritos
- Diferentes Niveles:
 - Nivel de Robot* → programación explícita
 - Nivel de Objeto* } programación implícita
 - Nivel de Tarea* }

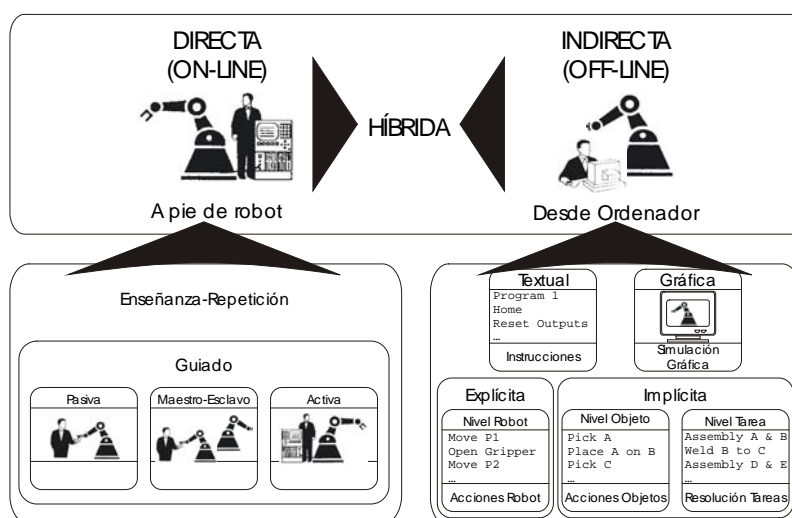
Programación Gráfica

Programación Automática o Manual



Cortesía CRM

Métodos de programación de robots



Funciones de la programación de robots

Funciones básicas a cumplir:

- **Control de Movimiento del Robot:**
 - Sistemas de Coordenadas
 - Definición de Localizaciones
 - Parámetros de los Movimientos
- Control de las Acciones de Utillaje
- Control de Sensores
- Control de Dispositivos Externos
- Control Virtual del Entorno
- Control de Programas
- Cálculos Aritméticos y Lógicos
- Control de Interacción con el Operario



Programación de movimientos

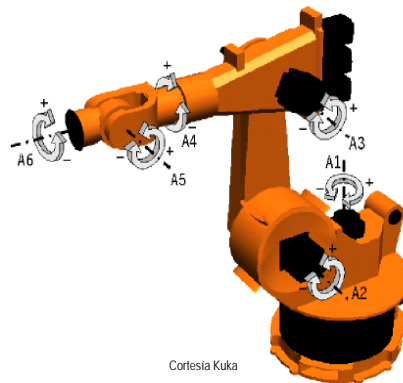
Sistemas de Coordenadas

Programación en el Espacio de Articulaciones:

DRIVE(articulacion,valor)

DRIVE(vector_valores)

Puede ser absoluta o relativa



Programación de movimientos

Sistemas de Coordenadas

Programación en el Espacio Cartesiano

Uso de sistemas de coordenadas:

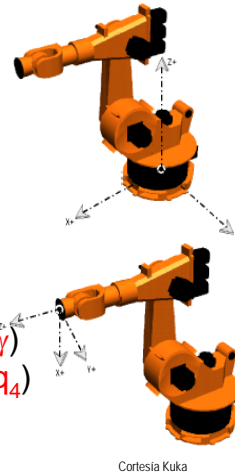
- del robot (**RobotFrame**)
- de la herramienta (**ToolFrame**)

Transformación = **RobotFrame** $T_{\text{ToolFrame}}$

Vector de posición (**x,y,z**) y:

- ángulos de Euler de orientación (α, β, γ)
- cuaternión de orientación (q_1, q_2, q_3, q_4)
- matriz de rotación $R_{3 \times 3}$

Matriz de transformación $T_{4 \times 4}$



Cortesía Kuka

Programación de movimientos

Sistemas de Coordenadas

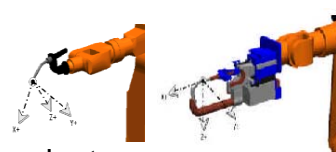
Movimientos Absolutos y Relativos

Sistema de coordenadas de la herramienta (**ToolFrame**)

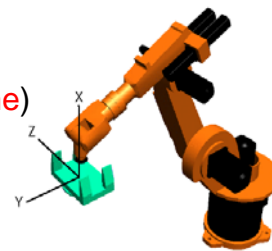
- Punto Centro de Herramienta (**TCP**)

Sistema de coordenadas:

- de objeto, auxiliar o base (**ObjectFrame**)
- del mundo (**WorldFrame**)



Cortesía Kuka



Cortesía Kuka

Programación de movimientos

Sistemas de Coordenadas

dónde se sitúa el robot:

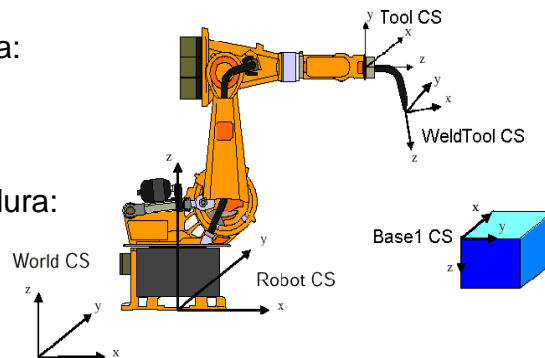
$$\text{WorldFrame} \begin{matrix} T \\ \text{RobotFrame} \end{matrix}$$

dónde se sitúa la pieza:

$$\text{WorldFrame} \begin{matrix} T \\ \text{Base1Frame} \end{matrix}$$

dónde se sitúa la herramienta de soldadura:

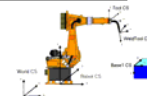
$$\text{ToolFrame} \begin{matrix} T \\ \text{WeldToolFrame} \end{matrix}$$



Programación de movimientos

Sistemas de Coordenadas

Sistema de Coordenadas (Frame)	Características	Función
Robot	Único y difícilmente modificable	Referencia de movimientos y localización del robot respecto al del mundo
Herramienta	Uno con origen en la brida y nuevos definibles respecto a éste	Sistema móvil del robot y referencia de movimientos
Base o Auxiliar	Definibles respecto al del mundo	Referencia de movimientos y localización de objetos respecto al del mundo
Mundo	Idéntico al del robot pero modificable	Referencia de movimientos y de localización de robots y objetos



Programación de movimientos

Definición de Localizaciones:

- *Manualmente mediante su medición*
Incómodo o inviable
- *Mediante el uso del propio robot*
Por guiado. Precisión Visual
- *Mediante un modelo del entorno del robot en un sistema CAD*
Requiere calibración sensorial entre el modelo virtual y el modelo real
- *Mediante el uso de sensores (visión por computador)*
Dificultad para la orientación y poca precisión



Cortesía ABB

Funciones de la programación de robots

Funciones básicas a cumplir:

- **Control de Movimiento del Robot:**
 - Sistemas de Coordenadas
 - Definición de Localizaciones
 - **Parámetros de los Movimientos**
- Control de las Acciones de Utillaje
- Control de Sensores
- Control de Dispositivos Externos
- Control Virtual del Entorno
- Control de Programas
- Cálculos Aritméticos y Lógicos
- Control de Interacción con el Operario



Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Velocidad**

Parámetro nominal (porcentaje respecto a una velocidad básica)

Velocidad lineal, no velocidad angular

Velocidad no uniforme, con rampas de aceleración/deceleración

Valor aproximado

Importante para movimientos largos



Cortesía ABB

Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Aceleración**

Aceleración de arranque y la deceleración de parada (rampas)

Poco intuitivos

Importante para movimientos muy cortos



Cortesía ABB

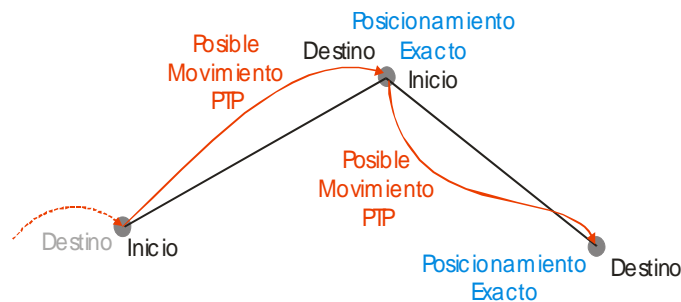
Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Tipo de movimiento**

- Libre o Punto a Punto (PTP)**

Interpolación lineal en el espacio de articulaciones
(independiente o coordinada) (incluida en la muñeca)
Movimiento garantizado y sencillo



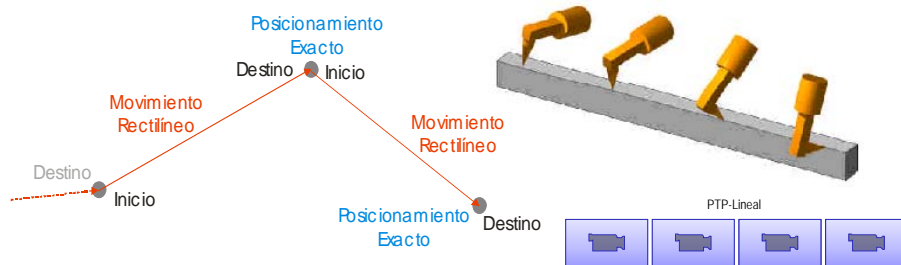
Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Tipo de movimiento**

- Rectilíneo**

Orientación con interpolación en las variables de articulación de muñeca, orientación fija o interpolación en los ángulos de Euler
Localizaciones intermedias pueden ser inalcanzables



Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

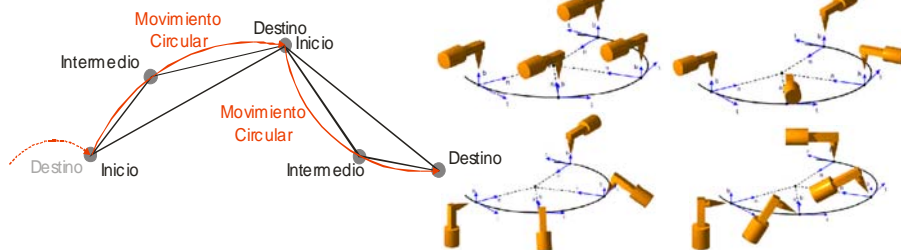
- **Tipo de movimiento**

- **Circular**

Localización actual y dos más

Discretización en segmentos rectilíneos

Orientación fija o variable respecto al espacio o a la trayectoria circular



Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Precisión**

- **Posicionamiento exacto**

Velocidad cero

Arranques y paradas

- **Movimiento continuo**

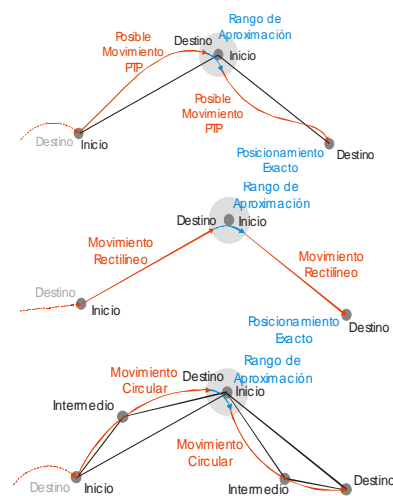
Rango de aproximación

Parámetro de vuelo (fly)

Movimientos más rápidos

Error según parámetro y

velocidad



Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

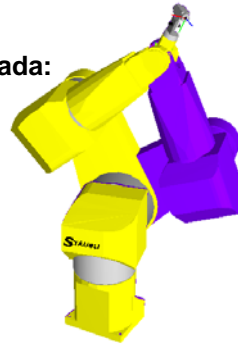
- **Selección de la Configuración**

- **Por control de usuario**

Bits de control, variables de las articulaciones o comandos o instrucciones especiales

- **Por sistema de control**

Selecciona la configuración más adecuada:
la más cercana o económica,
en términos de menor energía
consumida en el movimiento

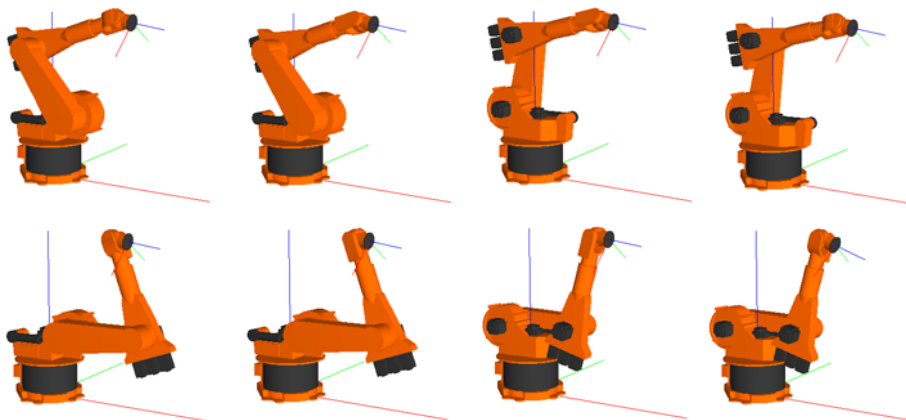


Programación de movimientos

Parámetros de movimiento

- **Selección de la Configuración**

8 soluciones para el robot angular con muñeca en línea



Metodología de programación de robots

Aspectos a contemplar

- **Seleccionar la herramienta**
Sistema de coordenadas, parámetros, carga
- **Determinar operaciones de herramienta**
Apertura/cierre de pinza, soldadura, ...
- **Determinar localizaciones de la herramienta**
(y localizaciones relativas)
- **Determinar las precisiones**
Sólo se indicará un requisito de precisión cuando sea necesario
- **Determinar las velocidades de movimientos**
Se utilizará una velocidad alta siempre que sea posible
- **Determinar tipo de movimientos**
Movimiento libre o restringido (lineal, circular, ondular, ...)
Se utilizarán movimientos libres mientras no sea necesario
controlar la trayectoria que debe realizar la herramienta



Cortesía Fanuc

Metodología de programación de robots

PROGRAMA GENÉRICO DE ROBOT:

Inicialización:

- Inicialización de constantes, variables y estructura de datos
- Determinar parámetros globales (velocidad, aceleración, ...)
- Selección, configuración e inicialización de herramienta
- Inicialización de señales de salida
- Mover el robot a configuración de reposo

Repetir **siempre**

- Espera a condición de inicio del ciclo de trabajo
- Realización de un ciclo de trabajo
- Avisar de ciclo terminado



Cortesía ABB

Metodología de programación de robots

Tipos de tareas básicas:

- **Basadas en una única localización de trabajo:**
Coger o dejar una pieza, taladrar una pieza, aplicar un punto de soldadura, ...
- **Basadas en una trayectoria con control continuo, con secuencia de localizaciones de trabajo:**
Trayectoria de soldadura al arco, fresado, mecanizado continuo, pintura, lijado, aplicación de pegamento, ...



Pick&Place



P&P + Pulido



Pintura



Soldadura al arco



Corte por agua



Sellado



Cortesía Kuka



Cortesía Motoman



Cortesía ABB

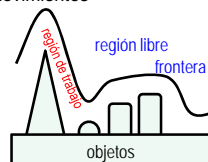


Cortesía Fanuc

Metodología de programación de robots

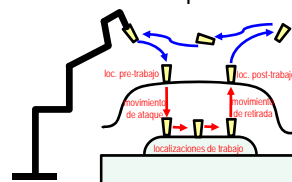
Regiones del espacio:

- **Región libre**
 - Sin restricción de precisión, velocidad alta y movimientos libres
- **Frontera**
 - Transición
- **Región de trabajo:**
 - Control de precisión, velocidad y movimientos



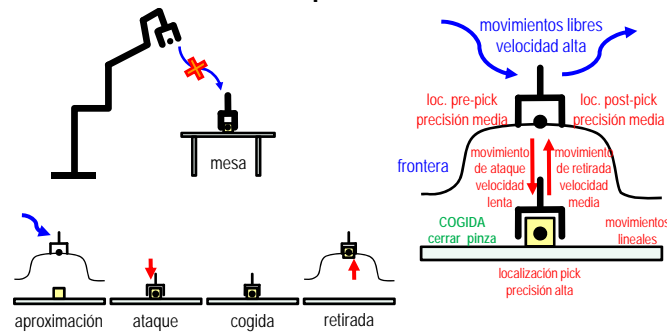
Localizaciones y movimientos:

- Localización pre-trabajo
- Movimiento de ataque
- Trabajo (1 o secuencia)
- Movimiento de retirada
- Localización post-trabajo



Programación de aplicaciones pick&place

Aplicación genérica de agarre o dejada de una pieza



Programación de aplicaciones pick&place

COGER PIEZA

Abrir pinza

Aproximación: situar pinza en localización pre-pick

Movimiento libre si no hay peligro de colisión
Localización pre-pick a una distancia de seguridad de la pieza
Máxima velocidad
Precisión media

Ataque: situar pinza en localización pick

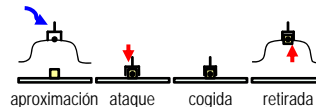
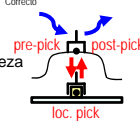
Movimiento de ataque en línea recta para controlar posibles colisiones
Velocidad lenta
Precisión alta

Cogida: Cerrar pinza

Espera
Actuar señal pinza
Espera

Retirada: situar pinza con pieza en localización post-pick

Movimiento en línea recta para controlar colisiones
Localización post-pick a una distancia de seguridad de la mesa
Velocidad media
Precisión media



Programación de aplicaciones pick&place

DEJAR PIEZA

¿ _____ ?

Aproximación: situar pinza con pieza en localización pre-place

Movimiento libre si no hay peligro de colisión
Localización pre-place a una distancia de seguridad de la mesa
Máxima velocidad
Precisión media

Ataque: situar pinza en localización place

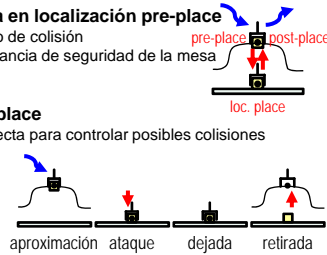
Movimiento de ataque en línea recta para controlar posibles colisiones
Velocidad lenta
Precisión alta

Dejada: Abrir pinza

Espera
Actuar señal pinza
Espera

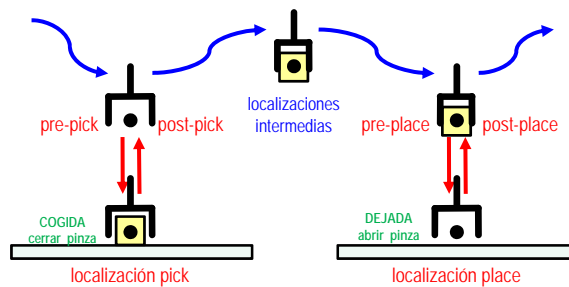
Retirada: situar pinza con pieza en localización post-place

Movimiento en línea recta para controlar colisiones
Localización place a una distancia de seguridad de la mesa
Velocidad media
Precisión media



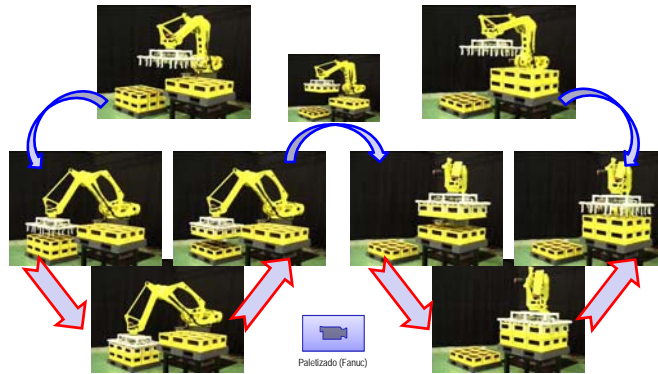
Programación de aplicaciones pick&place

Aplicación genérica de "pick & place"



Programación de aplicaciones pick&place

Ejemplo de pick & place en aplicación de paletizado



Programación de aplicaciones pick&place

PICK & PLACE

Esperar pieza lista para manipular

Coger pieza

Enviar señal de pieza cogida

Movimientos intermedios

Movimientos libres si no hay peligro de colisión

Máxima velocidad

Sin requisitos de precisión

Dejar pieza

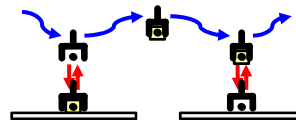
Enviar señal de pieza dejada para su evacuación



Paletizado (Fanuc)



Paletizado (KUKA)



Robots manipuladores industriales



CONCLUSIONES

- Existen diferentes configuraciones de robots según sus ejes de articulaciones
- Las configuraciones más usadas son robot angular, cartesiano, SCARA y delta
- El alcance y la carga son las características más resaltables de los robots industriales
- Los robots se pueden programar con diversos métodos, on-line y off-line
- Para programar aplicaciones correctas debe asegurarse una secuencia de movimientos aproximación-ataque-trabajo-retirada

Robótica / Sistemas Robotizados



ROBOTS MANIPULADORES INDUSTRIALES

Martin Mellado

martin@ai2.upv.es

<http://personales.upv.es/mmellado>



Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISA)
Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2)
Universitat Politècnica de València (UPV)

