

*fundamentos  
de  
robótica*

*UNED. curso 2001/2002*

## TEMA 1

### 1.3 DEFINICION Y CLASIFICACION DEL ROBOT

#### 1.3.1 DEFINICION DE ROBOT INDUSTRIAL

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

Se clasifican en:

- Robot industrial
- Robot de servicio
- Robot teleoperados

#### 1.3.2 CLASIFICACION DEL ROBOT INDUSTRIAL

- Robot secuencial
- Robot de trayectoria controlable
- Robot adaptativo
- Robot telemanipulado

#### 1.3.3 ROBOTS DE SERVICIO Y TELEOPERADOS

Los Robots de servicio pueden definirse como dispositivos electromecánicos móviles, dotados de uno o varios brazos independientes controlados por un programa de ordenador y que realizan tareas no industriales.

Los Robots teleoperados son dispositivos robóticos controlados remotamente por un humano.

## TEMA 2

Un Robot está formado por los siguientes elementos:

- Estructura mecánica (eslabones + articulaciones)
- Transmisiones, (reductores o accionamiento directo).
- Sistema de accionamiento (actuadores [neumáticos hidráulicos o eléctricos])
- Sistema sensorial [posición velocidad presencia]
- Sistema de control
- Elementos terminales

### 2.1 ESTRUCTURA MECANICA

Mecánicamente un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior se denomina **grado de libertad GDL**. El número de GDL del robot viene dado por la suma de los GDL de cada articulación que lo componen.

Las articulaciones utilizadas son únicamente la prismática y la de rotación, con un solo GDL cada una.

Para posicionar y orientar un cuerpo en el espacio son necesarios 6 parámetros [3 de posición + 3 de orientación], es decir 6 GDL; pero en la práctica se utilizan 4 ò 5 GDL por ser suficientes. Otros casos requieren más de 6 GDL para tener acceso a todos los puntos. Cuando el número de GDL es mayor que los necesarios, se dice que el robot es redundante.

### 2.2 TRANSMISIONES Y REDUCTORES

#### 2.2.1 TRANSMISIONES

Las transmisiones son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Dado que el robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es de gran importancia reducir al máximo su momento de inercia, para ello, los actuadores están lo más cerca posible de la base del robot, lo que obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones. También pueden ser utilizadas para convertir movimiento lineal en circular o viceversa.

Características básicas de un buen sistema de transmisión:

- Tamaño y peso reducidos
- Evitar holguras
- Deben tener gran rendimiento
- No afecte al movimiento que transmite
- Sea capaz de soportar un funcionamiento continuo a un par elevado incluso a grandes distancias

Las transmisiones más habituales son las que cuentan con movimiento circular tanto a la entrada como a la salida. (Engranajes correas...).

### 2.2.2 REDUCTORES

Son los encargados de adaptar el par y la velocidad de salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot. A los reductores utilizados en robótica se les exigen unas condiciones de funcionamiento muy restrictivas por las altas prestaciones que se les exigen en cuanto a precisión y velocidad de posicionamiento.

#### **Características :**

- Bajo peso y tamaño
- Bajo rozamiento
- Capaces de realizar una reducción elevada de velocidad en un único paso
- Deben minimizar su momento de inercia
- Tienen una velocidad máxima de entrada admisible
- Deben soportar elevados pares puntuales. (continuos arranques y paradas)
- El juego angular debe ser lo menor posible (giro del eje de salida sin que gire el de entrada)
- Alta rigidez torsional (par que hay que aplicar al eje de salida para que bloqueado el de entrada gire un ángulo unitario)

### 2.2.3 ACCIONAMIENTO DIRECTO

En el accionamiento directo el eje del actuador se conecta directamente a la articulación, sin utilización de reductores intermedios, ya que éstos introducen defectos negativos como juego angular, rozamiento... que impiden alcanzar la precisión y velocidad requeridos.

#### **Ventajas :**

- Posicionamiento rápido y preciso pues evitan los rozamientos de transmisiones y reductores.
- Mayor control del sistema a costa de una mayor complejidad
- Simplifican el sistema mecánico al eliminarse el reductor

#### **Inconvenientes :**

- Tipo de motor a emplear ya que necesitamos un par elevado a bajas revoluciones manteniendo la mayor rigidez posible, que encarecen el sistema.

Suelen ser del tipo SCARA.

## 2.3 ACTUADORES

Generan el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control.

### 2.3.1 ACTUADORES NEUMATICOS

La fuente de energía es aire a presión. **Tipos :**

- De cilindros neumáticos.-
  - De simple efecto.- se consigue el desplazamiento en un solo sentido, como consecuencia del empuje del aire a presión, mientras que en el otro sentido se desliza por el efecto de un muelle recuperador.
  - De doble efecto.- El aire empuja al émbolo en las dos direcciones, persiguiendo un posicionamiento en los extremos del mismo, y no un posicionamiento continuo (esto puede conseguirse mediante una válvula de distribución).
- De motores neumáticos.- Se consigue el movimiento de rotación de un eje mediante aire a presión. Tipos :
  - De aletas rotativas.- son aletas de longitud variable, que al entrar el aire en uno de los dos compartimentos tienden a girar en el sentido del que tenga mayor volumen.
  - De pistones axiales.- tienen un eje de giro solidario a un tambor que se ve obligado a girar por las fuerzas que ejercen varios cilindros apoyados sobre un plano inclinado.

### 2.3.2 ACTUADORES HIDRAULICOS

Se utilizan aceites minerales a presión. Son muy similares a los neumáticos. Tipos :

- Cilindro
- Aletas
- Pistones

Ventajas :

1. Se obtiene una mayor precisión que en los neumáticos
2. Es más fácil realizar un control continuo
3. Permiten desarrollar elevadas fuerzas
4. Presentan estabilidad frente a cargas estáticas
5. Son autolubrificantes

Inconvenientes :

1. Las elevadas presiones propician fugas de aceite.
2. Necesitan instalaciones más complicadas que los neumáticos y eléctricos.

### 2.3.3 ACTUADORES ELECTRICOS

#### • **Motores de corriente continua**

Son los más utilizados debido a su facilidad de control. Se componen de dos devanados internos:

- Inductor.- situado en el estator, es el encargado de crear un campo magnético de excitación.

- Inducido.- situado en el rotor, hace girar al mismo debido a la corriente que circula por él y del campo magnético de excitación. Recibe corriente del exterior a través del colector de delgas.

Para poder transformar la energía eléctrica en mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y el rotor permanezcan estáticos entre sí (campos en cuadratura). Tipos :

- Controlado por inducido.- al aumentar la tensión del inducido se aumenta la velocidad de la máquina, permaneciendo la intensidad del inductor constante.

- Controlado por excitación.- tensión de la inducida constante variando corriente de excitación. Es menos estable.

Para mejorar el comportamiento de este tipo de motores, el campo de excitación se genera mediante imanes permanentes que evitan fluctuaciones del mismo, aumentando los problemas de calentamiento por sobrecarga.

Los motores DC son controlados mediante referencias de velocidad generadas por una unidad de control y electrónica específica.

Presentan el inconveniente del mantenimiento de escobillas, para evitarlo se han desarrollado unos motores sin escobillas: brushless.

#### • **Motores paso a paso**

Existen tres tipos:

- De imanes permanentes.- poseen una polarización magnética constante. El rotor gira para orientar sus polos respecto al estator.

- De reluctancia variable.- el rotor está formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse con el campo generado por el estator.

- Híbridos.- combinan los dos anteriores.

La señal de control son los trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator, por cada pulso recibido el rotor del motor gira un número determinado de grados.

Para conseguir el giro del motor un número determinado de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro.

Ventajas :

- Funcionamiento simple y exacto
- Pueden girar de forma continua y velocidad variable
- Ligeros fiables y fáciles de controlar

Inconvenientes:

- El funcionamiento a bajas revoluciones no es suave
- Sobrecalentamiento a velocidades elevadas
- Potencia nominal baja

- **Motores de corriente alterna**

Presentan una mayor dificultad de control que los motores DC. Sin embargo las mejoras introducidas en las máquinas síncronas hacen que se presenten como un claro competidor de los DC debido a:

- No tienen escobillas
- Usan convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia con facilidad y precisión
- Emplean microelectrónica que permite una gran capacidad de control

El inductor se sitúa en el rotor y está constituido por imanes permanentes, mientras que el inducido, situado en el estator, está formado por tres devanados iguales desfasados  $120^\circ$  eléctricos, y se alimenta de tensión trifásica.

La velocidad de giro depende de la frecuencia de la tensión que alimenta el inducido, ésta frecuencia se controla a través de un convertidor de frecuencia. Dispone de unos sensores de posición para evitar la pérdida de sincronismo, manteniendo en todo momento el ángulo entre rotor y estator (autopilotados).

Ventajas sobre los DC:

- No presentan problemas de mantenimiento por no tener escobillas
- Tienen una gran evacuación del calor por estar el bobinado pegado a la carcasa desarrollan potencias mayores

Inconvenientes :

- Presentan una mayor dificultad de control que los motores DC.

## **2.4 sensores internos**

Para conseguir que un robot realice su tarea con precisión, velocidad e inteligencia, es necesario que disponga de información de su estado (sensores internos) y del estado de su entorno (sensores externos).

### **2.4.1 sensores de posición**

- **Codificadores angulares de posición (encoders)**

1. Los codificadores ópticos o encoders **incrementales** constan de:

- Un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí.
- Un sistema de iluminación en el que la luz es colimada (proceso de hacer paralelos dos rayos de luz entre sí) de forma correcta
- Un elemento fotoreceptor

El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente, de tal forma, que a medida que gira se generan pulsos en el receptor a medida que la luz atraviesa cada marca, y llevando una cuenta de éstos pulsos, se puede conocer la posición exacta del eje.

Para saber si el giro se realiza en un sentido o en otro, se dispone de otra serie de marcas desplazada de la anterior de manera que el tren de pulsos que se genere estará desplazado  $90^\circ$  respecto al generado por la primera marca.

Es necesario disponer de una marca de referencia para el conteo de vueltas o el inicio.

La resolución de éste tipo de sensores depende del número de marcas

2 Los codificadores o encoders **absolutos** se componen de las mismas partes que los anteriores, solo que en éste caso, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores, codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico, de ésta forma cada posición se codifica de forma absoluta, y no es necesario el conteo. Su resolución es fija y viene determinada por el número de anillos del disco graduado. Tienen como INCONVENIENTES:

1 Normalmente los sensores de posición se acoplan al eje del motor viéndose así afectado por el reductor, esto se soluciona:

- En los encoders absolutos: mediante encoders absolutos multivuelta auxiliares conectados mediante engranajes al principal.
- En el caso de los incrementales, se soluciona mediante un detector de presencia, denominado de sincronismo

2 Pueden presentar problemas mecánicos debido a la gran precisión que se debe tener en su fabricación

- **Captadores angulares de posición (sincro-resolvers)**

Se trata de captadores analógicos con resolución teóricamente infinita.

El funcionamiento de los **resolvers** se basa en la utilización de una bobina solidaria al eje y por dos bobinas fijas situadas a su alrededor. El giro de la bobina fija hace que el acoplamiento con las bobinas fijas varíe, consiguiendo que la señal resultante en éstas dependa del seno del ángulo de giro.

El funcionamiento de los **sincros** es análogo al de los resolvers, excepto que las bobinas fijas forman un sistema trifásico en estrella.

Para poder tratar el sistema de control la información de sincros y resolvers, es necesario convertir las señales analógicas en digitales.

Ambos captadores son de tipo absoluto, destacando como **ventajas**:

- Robustez mecánica
- inmunidad a la contaminación, humedad, ruido, altas temperaturas
- reducido momento de inercia

**Inconveniente** : dependen de una electrónica asociada que limita la precisión.

- **Sensores lineales de posición (LVDT e Inductosyn)**

**LVDT** su funcionamiento se basa en la utilización de un núcleo de material ferromagnético unido al eje cuyo movimiento se quiere medir, éste núcleo se mueve linealmente entre un devanado primario y dos secundarios, haciendo con su movimiento que varíe la inductancia entre ellos (aumenta en uno mientras disminuye en el otro). Ventajas :

- poco rozamiento
- elevada resolución
- alta linealidad
- gran sensibilidad
- respuesta dinámica elevada

**Inductosyn** : su funcionamiento es similar al resolver con la diferencia de que el rotor se desplaza linealmente sobre el estator

### 2.4.2. SENSORES DE VELOCIDAD

La información de la velocidad de movimiento de cada actuador se realimenta a un bucle de control analógico implementado en el propio accionador del elemento motor. El captador utilizado es una tacogeneratriz que proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro.

### 2.4.3. SENSORES DE PRESENCIA

Es capaz de detectar la presencia de un objeto dentro de un radio de acción determinado. La detección puede hacerse con contacto (interruptores) o sin contacto

- inductivos, detectan presencia o cuentan objetos metálicos
- capacitivos, detectan presencia o cuentan objetos no metálicos presentan inconvenientes en ambientes húmedos
- efecto hall, detectan presencia de objetos ferromagnéticos
- célula reed,
- óptico, pueden detectar la reflexión del rayo proveniente del objeto
- ultrasonidos.
- 

### 2.5 ELEMENTOS TERMINALES

Son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Pueden ser tanto elementos de aprehensión como herramientas, en muchos casos diseñadas para cada tipo de trabajo.

El accionamiento neumático es el más utilizado por ofrecer ventajas en simplicidad aunque presentan dificultades en posicionamientos intermedios.

# Cuaternios

Un cuaternio está formado por cuatro componentes  $(q_0, q_1, q_2, q_3)$  que representan las coordenadas del cuaternio en una base  $\hat{e}, \hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$

$$Q = q_0 e + q_1 i + q_2 j + q_3 k = (s, v)$$

Cuaternio conjugado  $Q^D$  se mantiene el signo de la parte escalar y se invierte el de la vectorial

$$Q^D = q_0 e - q_1 i - q_2 j - q_3 k = (s, -v)$$

## Operaciones algebraicas

Producto :

$$Q_3 = Q_1 \cdot Q_2 = (s_1, v_1) \cdot (s_2, v_2) = (s_1 s_2 - v_1 v_2, v_1 \times v_2 + s_1 v_2 + s_2 v_1)$$

$$Q_3 = \hat{y} q_{30}, q_{31}, q_{32}, q_{33} \quad Q_1 = \hat{y} q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13} \quad Q_2 = \hat{y} q_{20}, q_{21}, q_{22}, q_{23}$$

$$q_{30} = q_{10} q_{20} - (q_{11} q_{21} + q_{12} q_{22} + q_{13} q_{23})$$

$$q_{31} = q_{10} q_{21} + q_{11} q_{20} + q_{12} q_{23} - q_{13} q_{22}$$

$$q_{32} = q_{10} q_{22} + q_{12} q_{20} + q_{13} q_{21} - q_{11} q_{23}$$

$$q_{33} = q_{10} q_{23} + q_{13} q_{20} + q_{11} q_{22} - q_{12} q_{21}$$

$$\text{Suma } Q_3 = Q_1 + Q_2 = (s_1, v_1) + (s_2, v_2) = (s_1 + s_2, v_1 + v_2)$$

$$\text{Producto por un escalar } Q_3 = a Q_1 = a(s_1, v_1) = (a s_1, a v_1)$$

## Utilización de cuaternios

Giro de valor  $S$  sobre un eje  $k$  :

$$Q = \text{Rot} ( k, S ) = ( \cos \frac{S}{2}, k \text{ sen } \frac{S}{2} )$$

Rotación expresada por el cuaternio  $Q$  a un vector  $r$  :

$$(0, r') = Q \cdot (0, r) \cdot Q^D$$

Composición de rotaciones , rotar  $Q_1$  para después rotar  $Q_2$  es lo mismo que rotar  $Q_3$  :

$$Q_3 = Q_1 \cdot Q_2$$

### Composición de rotaciones con traslaciones :

4 Traslación del vector  $p$  seguida de rotación  $Q$  al sistema  $OXYZ$ , es un nuevo sistema  $OUVW$  tal que las coordenadas de un vector  $r$  en el sistema  $OXYZ$ , conocidas en el sistema  $OUVW$  son

$$({}^0, r_{xyz}) = Q E({}^0, r_{uvw}) E Q^D + ({}^0, r)$$

4 Primero rotación  $Q$  después traslación del vector  $p$  :

$$({}^0, r_{xyz}) = Q E({}^0, r_{uvw} + p) E Q^D$$

4 Si se mantiene el sistema  $OXYZ$  fijo y se traslada el vector  $r$  según  $p$  y luego se rota según  $Q$  se obtendría :

$$({}^0, r') = Q E({}^0, r + p) E Q^D$$

4 Si se aplica primero el giro y después la traslación  $p$  al vector  $r$  se obtendría :

$$({}^0, r') = Q E({}^0, r) E Q^D + ({}^0, p)$$

## TEMA 3

### Matriz de rotación

$$R = \begin{bmatrix} i_x i_u & i_x j_v & i_x k_w \\ j_y i_u & j_y j_v & j_y k_w \\ k_z i_u & k_z j_v & k_z k_w \end{bmatrix}$$

Rotación sobre el eje X :

$$R(x, J) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos J & \text{?sen} J \\ 0 & \text{sen} J & \cos J \end{bmatrix}$$

Rotación sobre el eje Y :

$$R(y, d) = \begin{bmatrix} \cos d & 0 & \text{sen} d \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{?sen} d & 0 & \cos d \end{bmatrix}$$

Rotación sobre el eje Z:

$$R(z, S) = \begin{bmatrix} \cos S & \text{?sen} S & 0 \\ \text{sen} S & \cos S & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Matrices homogéneas

$$T \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{rotación} & \text{traslación} \\ \text{perspectiva} & \text{escalado} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_x i_u & i_x j_v & i_x k_w & r_x \\ j_y i_u & j_y j_v & j_y k_w & r_y \\ k_z i_u & k_z j_v & k_z k_w & r_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Matriz de Traslación

$$T_{\mathbf{p}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vector  $\mathbf{r}$  trasladado  $\mathbf{p}$  representado en el sistema  $O'UVW$  :

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

Vector  $\mathbf{r}$  trasladado  $\mathbf{p}$  representado en el sistema  $O'XYZ$  :

$$\begin{bmatrix} r_x' \\ r_y' \\ r_z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Matriz de Rotación

Rotación sobre el eje X :

$$T(x, J) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos J & \sin J & 0 \\ 0 & \sin J & \cos J & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación sobre el eje Y:

$$T(y,d)= \begin{bmatrix} \cos d & 0 & \text{sen}d & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{?sen}d & 0 & \cos d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación sobre el eje Z:

$$T(z,S)= \begin{bmatrix} \cos S & \text{?sen}S & 0 & 0 \\ \text{sen}S & \cos S & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vector  $r$  representado en el sistema girado  $O''UVW$  por  $r_{uvw}$  tendrá como componentes  $r_{xyz}$  en el sistema  $OXYZ$

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

Un vector  $r$  rotado según  $T$  vendrá expresado por  $r'_{xyz}$ :

$$\begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ r'_z \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

## Rotación seguida de traslación

Rotación de un ángulo  $J$  sobre el eje OX seguida de traslación de un vector  $p_{x,y,z}$  :

$$T((x, J, p)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & \cos J & \text{sen} J & p_y \\ 0 & \text{sen} J & \cos J & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación de un ángulo  $d$  sobre el eje OY seguida de traslación de un vector  $p_{x,y,z}$  :

$$T((y, d, p)) = \begin{bmatrix} \cos d & 0 & \text{sen} d & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ \text{sen} d & 0 & \cos d & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación de un ángulo  $S$  sobre el eje OZ seguida de traslación de un vector  $p_{x,y,z}$  :

$$T((z, S, p)) = \begin{bmatrix} \cos S & \text{sen} S & 0 & p_x \\ \text{sen} S & \cos S & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Traslación seguida de rotación

Traslación de vector  $p_{x,y,z}$  seguida de rotación de un ángulo  $J$  sobre eje OX :

$$T(p, (x; J)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & \cos J & \text{sen} J & p_y \cos J + p_z \text{sen} J \\ 0 & \text{sen} J & \cos J & p_y \text{sen} J + p_z \cos J \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Traslación de vector  $p_{x,y,z}$  seguida de rotación de un ángulo  $d$  sobre eje OY:

$$T(p, (x; d)) = \begin{bmatrix} \cos d & 0 & \text{sen} d & p_x \cos d + p_z \text{sen} d \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ \text{sen} d & 0 & \cos d & p_z \cos d + p_x \text{sen} d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Traslación de vector  $p_{x,y,z}$  seguida de rotación de un ángulo  $S$  sobre eje OZ:

$$T(p,(z;S)) = \begin{bmatrix} \cos S & -\operatorname{sen} S & 0 & p_x \cos S - p_y \operatorname{sen} S \\ \operatorname{sen} S & \cos S & 0 & p_x \operatorname{sen} S + p_y \cos S \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## TEMA 4

### 4.2 CINEMATICA INVERSA

#### PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

El objetivo del problema cinemático inverso, consiste en encontrar los valores que deben adaptar las coordenadas articulares del robot, para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial.

El procedimiento de obtención de las ecuaciones está fuertemente ligado a la configuración del robot.

Se han desarrollado procedimientos genéricos programados, para que a partir del conocimiento de la cinemática del robot, se puedan obtener los parámetros de posicionamiento y orientación, pero presentan el problema de que se trata de procedimientos iterativos, cuya velocidad de convergencia, e incluso su convergencia no están garantizados. Por tanto es mucho más adecuado encontrar una solución cerrada, de la forma:

$$Q_k = f_k(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \\ K = 1..n \text{ (GDL)}$$

Este método presenta las ventajas de:

- En aplicaciones que se resuelvan en tiempo real, la solución iterativa no garantiza la solución en el momento adecuado.
- La solución no es única, con lo que una solución cerrada proporciona la más adecuada.

#### 4.2.1. METODOS GEOMETRICOS

Este procedimiento es adecuado para robots de pocos GDL o para el caso de que se consideren sólo los primeros GDL, los dedicados a posicionar el extremo.

Se basa en encontrar el suficiente número de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del robot, sus coordenadas articulares y dimensiones físicas de sus elementos.

#### 4.2.2. A PARTIR DE LA MATRIZ DE TRANSFORMACION HOMOGENEA

Conocidas las relaciones del modelo directo, conocer el modelo inverso. Es decir, conocida T obtener por manipulación las relaciones inversas.

#### 4.2.3. DESACOPLO CINEMATICO

Los métodos anteriores, sólo posicionan el extremo del robot, pero se necesita además una orientación, para ello los robots cuentan con tres GDL adicionales situados al final de la cadena cinemática y cuyos ejes se cortan en un punto denominado muñeca del robot.

Este método, dada una posición y orientación final deseadas, establece las coordenadas del punto de corte de la muñeca del robot, calculándose los valores de las tres primeras variables articulares a partir de los datos de orientación más los ya calculados.

### 4.3 MATRIZ JACOBIANA

El modelado cinemático de un robot busca las relaciones entre las variables articulares y la posición y orientación del extremo del robot, en las que no se tiene en cuenta las fuerzas que actúan sobre el robot y que permiten originar el movimiento del mismo. Sin embargo si que se debe conocer la relación entre las coordenadas articulares y sus respectivas derivadas; de esta forma el sistema de control del robot establece las velocidades que debe imprimir a cada articulación. La matriz jacobiana establece esta relación.

La matriz jacobiana **directa** permite conocer las velocidades del extremo del robot a partir de los valores de las velocidades de cada articulación.

La matriz jacobiana **inversa** permite conocer las velocidades articulares a partir de una determinada velocidad del extremo del robot.

#### 4.3.1 RELACIONES DIFERENCIALES

Es el método más directo para obtener la relación entre velocidades articulares y del extremo del robot, consiste en diferenciar las ecuaciones correspondientes al modelo cinemático directo.

#### 4.3.3 CONFIGURACIONES SINGULARES

Son aquellas en las que el determinante de su matriz jacobiana se anula, impidiendo de esta forma el cálculo de su jacobiana inversa, lo que obligaría a movimientos de las articulaciones a velocidades inabordables por los actuadores. Por esta razón, en las inmediaciones de los puntos singulares, se pierde alguno de los grados de libertad del robot, siendo imposible que su extremo se mueva en una determinada dirección cartesiana. Podemos clasificarlas en:

- Singularidades en los límites del espacio del robot.
- Singularidades en el interior del espacio de trabajo del robot.

Para evitar la aparición de configuraciones singulares debe considerarse su existencia desde la propia fase de diseño mecánico, imponiendo restricciones al movimiento o utilizando robots redundantes.

# PARAMETROS D-H

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C d_i & S\theta_i C d_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C d_i & -S\theta_i C d_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S d_i & C d_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\theta_i =$$

= ángulo que forman los ejes  $x_{i-1}$  y  $x_i$  medido en un plano perpendicular a  $z_{i-1}$   
variable en las articulaciones giratorias

$$d_i =$$

distancia a lo largo del eje  $z_{i-1}$  desde  $S_{i-1}$  hasta la intersección del eje  $z_{i-1}$  con el eje  $x_i$ , variable en las articulaciones prismáticas

$$\mathbf{a}_i =$$

En articulaciones giratorias : distancia a lo largo del eje  $x_i$  que va desde la intersección del eje  $z_{i-1}$  con el eje  $x_i$  hasta el origen del sistema  $S_i$

En articulaciones prismáticas : es la distancia más corta entre los ejes  $z_{i-1}$  y  $z_i$

$$\mathbf{J}_i =$$

Es el ángulo de separación del eje  $z_{i-1}$  y el eje  $z_i$  medido en un plano perpendicular al eje  $x_i$  utilizando la regla de la mano derecha

## TEMA 6

### CONTROL CINEMATICO

El control cinemático establece cuales son las trayectorias que debe seguir cada articulación del robot a lo largo del tiempo para lograr los objetivos fijados por el usuario. Estas trayectorias se seleccionaran atendiendo a las restricciones físicas propias de los accionamientos y a ciertos criterios de calidad de trayectoria, como precisión suavidad...

#### 6.1 FUNCIONES DEL CONTROL CINEMÁTICO

El control cinemático recibe como entradas los datos procedentes del programa del robot escrito por el usuario y establece las trayectorias para cada articulación como funciones de tiempo.

**funciones :**

1. Convertir la especificación del movimiento dada en el programa en una trayectoria analítica en espacio cartesiano
2. Muestrear la trayectoria cartesiana obteniendo un numero finito de puntos
3. Utilizando la transformación homogénea inversa convertir cada uno de estos puntos en sus correspondientes coordenadas articulares
4. Interpolación de los puntos articulares obtenidos generando una expresión que se aproxime a ellos
5. Muestreo de la trayectoria para generar referencias.

El principal inconveniente de este procedimiento para generar trayectorias es la necesidad de resolver repetidamente la transformación homogénea inversa con el elevado coste computacional que conlleva.

#### 6.2. TIPOS DE TRAYECTORIAS

##### **6.2.1. trayectorias punto a punto**

En este tipo de trayectorias cada articulación evoluciona desde su posición inicial hasta su posición final sin hacer ningún tipo de consideración sobre el estado o evolución del resto de las articulaciones. Se pueden distinguir dos casos:

- **Movimiento eje a eje** sólo se mueve un eje cada vez, una vez que halla alcanzado su posición lo hará el siguiente. Ofrece un mayor tiempo de ciclo a cambio de un menor consumo de potencia.
- **Movimiento simultáneo de ejes** todas las articulaciones comienzan a moverse simultáneamente, acabando su movimiento cada una en un instante diferente. El tiempo total necesario coincide con el del eje mas lento, pudiéndose dar la circunstancia de que el resto de los actuadores hallan forzado su movimiento particular par finalmente tener que esperar a la más lenta.

### **6.2.2. trayectorias coordinadas o isocronas**

Para evitar que algunos actuadores trabajen forzando sus velocidades y aceleraciones para finalmente tener que esperar a la más lenta, puede hacerse un cálculo previo para averiguar cuál es la articulación que más tiempo invertirá . Se ralentiza entonces el movimiento al resto de los ejes para que todos inviertan el mismo tiempo en su posicionamiento , de esta forma el tiempo es el menor posible y no se piden aceleraciones y velocidades elevadas a los actuadores de manera inútil.

### **6.2.3 trayectorias continuas**

Cuando se pretende que la trayectoria que sigue el extremo del robot sea conocida por el usuario, es preciso calcular de manera continua las trayectorias articulares.

El resultado será que cada articulación sigue un movimiento aparentemente caótico.

## TEMA 9

### 9.1 DISEÑO Y CONTROL DE UNA CELULA ROBOTIZADA

Junto a la elección más adecuada para la elección del robot, hay que definir o incluso diseñar los elementos periféricos que intervienen en la célula, y su disposición. Asimismo será preciso definir la arquitectura de control hardware y software.

#### 9.1.1 Disposición del robot en la célula de trabajo

- **Robot en el centro de la célula** En ésta disposición, el robot queda rodeado por el resto de elementos aprovechando al máximo su campo de acción, que presenta una forma básica de esfera.
- **Robot en línea** Se utiliza cuando uno o varios robots deben trabajar sobre elementos que llegan en un sistema de transporte, diferenciando transporte intermitente en el que el avance de elementos está en función del robot más lento, o transporte continuo, en el que el robot debe trabajar sobre la pieza en movimiento.
- **Robot móvil** En este caso el robot puede desplazarse linealmente, permitiendo mantener una posición relativa fija con la pieza mediante una adecuada sincronización. Una vez finalizada la operación con la pieza el robot regresa a su posición inicial.
- **Robot suspendido** Esta posición hace que el robot quede situado invertido sobre el área de trabajo, de éste modo puede acceder a puntos situados sobre su propio eje vertical, obteniendo un aprovechamiento del área de trabajo.

#### 9.1.2 Características del sistema de control de la célula de trabajo.

Una célula robotizada debe ser flexible en su utilización, para ello un buen sistema de control debe realizar las siguientes funciones:

- **Control individual** de cada dispositivo.
- **Sincronización**
- **Detección tratamiento y recuperación** de situaciones anómalas
- **Optimización del funcionamiento**
- **Interfaz con el usuario**
- **Interfaz con otras células** para permitir sincronización
- **Interfaz con un sistema de control superior** para supervisión y actualización de programas.

Estas funciones se implementaran en hardware, o se encargará el propio robot si su controlador lo permite. Si la célula esta compuesta de varios dispositivos, será necesario crear una estructura jerarquizada en el que un elemento central se encargue de la comunicación con el resto de los controladores.

## **9.2 CARACTERÍSTICAS EN LA SELECCIÓN DE UN ROBOT**

### características geométricas

- Area de trabajo (Volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot, determinado por tamaño y limitaciones de movimiento impuestas por el sistema de control)
- Grados de libertad (determina la accesibilidad de este y su capacidad para orientar su herramienta terminal, la elección del número de GDL viene determinada por la aplicación)
- Errores de posicionamiento
  - distancia tras emergencia
  - repetitividad (radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot al ordenarle ir al mismo punto de destino programado)
  - resolución (mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot)
- Errores en el seguimiento de trayectorias
  - Calidad de una línea recta, arco...
- Precisión cuando se mueve el mínimo incremento posible (distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces)

### Características cinemáticas

- Velocidad nominal máxima (considerando siempre la situación más desfavorable)
- Aceleración y deceleración

### Características dinámicas

- Fuerza
  - De agarre
  - Carga máxima (condicionada por el tamaño, configuración y sistema de accionamiento del robot)
  - Control de fuerza-par
- Frecuencia de resonancia

### Tipo movimientos

- Movimientos punto a punto (solo es relevante el destino final)
- Trayectorias continuas (importa el trazado)
- Movimientos coordinados

### Modo programación

- Guiado
- Textual

### Tipo de accionamiento

- eléctrico
- neumático
- hidráulico

### comunicaciones

- E/S digitales / analógicas
- Comunicaciones línea serie

### Servicio proveedor

- Mantenimiento

### Coste

### **9.3 SEGURIDAD EN INSTALACIONES ROBOTIZADAS**

Las consideraciones sobre la seguridad del sistema cobran especial importancia por la naturaleza del robot que posee mayor índice de riesgo a accidente que otras máquinas, y por la aceptación social del robot en la fábrica.

#### **9.3.1 CAUSAS DE ACCIDENTES**

Los **tipos** de accidentes causados por robots industriales son debidos a:

- Colisión entre robots y hombre
- Aplastamiento por atrapamiento
- Proyección de una pieza.

Siendo las **causas** que los originan:

- Mal funcionamiento en sistemas de control
- Acceso indebido de personas a la zona de trabajo del robot
- Errores humanos en las etapas de mantenimiento, programación...
- Rotura de partes mecánicas
- Liberación de energía almacenada
- Sobrecarga del robot
- Medio ambiente o herramienta peligrosa

#### **9.3.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD**

La selección de las medidas de seguridad viene definidas por las siguientes **consideraciones**:

- Medidas de seguridad a tomar en la **fase de diseño del robot**  
En el diseño debe considerarse siempre el posible accidente tomándose las acciones oportunas para evitarlo en la medida de lo posible, tales como:
  1. Supervisión del sistema de control.- continúa supervisión de todos los sistemas.
  2. Paradas de emergencia
  3. Velocidad máxima limitada
  4. Detectores de sobreesfuerzo
  5. Pulsador de seguridad que impidan el movimiento accidental del robot
  6. Códigos de acceso de la unidad de control.
  7. Frenos mecánicos adicionales que entren en funcionamiento cuando se corte la alimentación de los accionadores
  8. Comprobación de señales de autodiagnóstico
- Medidas de seguridad a tomar en la **fase de diseño de la célula robotizada**
  1. Barreras de acceso a la célula que impidan el acceso a personas
  2. Dispositivos de intercambio de piezas, que permitan realizar éstas acciones a distancia
  3. Movimientos condicionados a la presencia de operarios
  4. Zonas de reparación que estarán fuera de la zona de trabajo

- Medidas de seguridad a tomar en la **fase de instalación y explotación del sistema**
  1. Abstenerse de entrar en la zona de trabajo, durante la programación e implantación de la aplicación
  2. Señalización adecuada, luminosa y acústica
  3. Prueba progresiva del programa del robot adaptando progresivamente la velocidad de trabajo
  4. Formación adecuada al personal que manejará la planta

## TEMA 10

### 10.2 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS ROBOTS

#### 10.2.1. Trabajos en fundición

- ◆ **Con molde:** En este proceso el material usado está en estado líquido, y es inyectado a presión en el molde, que está formado por dos mitades que se mantienen unidas durante la inyección del metal mediante la presión ejercida por dos cilindros; una vez que la pieza se ha solidificado se extrae del molde y se enfría para su posterior desbarbado.

##### Características de los robots:

- las cargas suelen ser medias o altas
  - no se necesita gran precisión
  - necesitan un campo de acción grande
  - estructura polar y articular
  - sistema de control sencillo
- ◆ **Con cera perdida:** En este proceso el robot puede realizar las tareas de formación del molde de material refractario, a partir del modelo de cera.

#### 10.2.2. Soldadura

- ◆ **Soldadura por puntos:** En este proceso dos piezas metálicas se unen en un punto por la fusión conjunta de ambas partes, para conseguirlo se hace pasar una corriente eléctrica de elevada intensidad a través de dos electrodos que sujetan las piezas que se desean unir con una presión y durante un tiempo determinado.

Este proceso admite dos posibles soluciones en función del tamaño peso y manejabilidad de las piezas:

- transporte de la pieza a los electrodos fijos
- Transporte de la pinza de soldadura a la pieza

##### Características de los robots:

- capacidad de carga elevada
  - 5 o 6 GDL
- ◆ **Soldadura por arco:** Se unen dos piezas mediante el aporte de un flujo de material fundido procedente de un electrodo. Un arco eléctrico entre la pieza a soldar y el electrodo, funden este último.

##### Características de los robots:

- no precisan gran capacidad de carga
- amplio radio de acción
- 5 o 6 GDL

### 10.2.3. Pintura

Este proceso consiste en cubrir una superficie de forma homogénea mediante pintura proyectada con aire comprimido y pulverizada mediante una pistola.

#### Características de los robots:

- ligeros
- 6 o más GDL
- requieren método de programación por guiado pasivo [directo o maniquí] y trayectoria continua.

### 10.2.4. Aplicación de adhesivos

Siguiendo la trayectoria programada, se proyecta la sustancia adhesiva que se solidifica al contacto con el aire. Se necesita una trayectoria precisa con una sincronización entre la velocidad y el caudal del material suministrado por la pistola.

#### Características de los robots:

- robot suspendido, habitualmente
- trayectoria continua
- capacidad de integrar la regulación del caudal acorde con la velocidad.

### 10.2.5. Alimentación de máquinas

Alimentación de máquinas especializadas por su peligrosidad.

#### Características de los robots:

- baja complejidad, precisión media
- reducidos GDL
- control sencillo
- campo de acción grande

### 10.2.6. Procesado

Se engloban en esta tarea las operaciones en las que el robot enfrenta pieza y herramienta para conseguir una modificación en la forma de la pieza.

Destaca el desbarbado que consiste en la eliminación de las rebabas.

#### Características de los robots:

- se precisan robots con capacidad de control y trayectoria continua
- buena precisión y control de velocidad
- sensores para adaptarse a la pieza

### 10.2.7. Corte

Los métodos más empleados son oxicorte, plasma, láser y chorro de agua, dependiendo de la naturaleza del material a cortar. En todos ellos, el

robot transporta la boquilla por la que se emite el material de corte, proyectando este sobre la pieza al mismo tiempo que se sigue una trayectoria determinada.

El corte por chorro de agua puede aplicarse a alimentos, PVC, fibra de vidrio... obteniéndose las siguientes ventajas:

- no provoca aumento de temperatura en el material
- no contamina
- no provoca cambios de color
- no altera las propiedades de los materiales
- coste de mantenimiento bajo

#### Características de los robots:

- trayectoria continua
- elevada precisión
- envergadura media
- robot suspendido

#### 10.2.8. Montaje

Por la gran precisión y habilidad que se exige, presentan muchas dificultades para su automatización. Requiere además del robot una serie de elementos auxiliares cuyo coste es superior o similar al propio robot.

#### Características de los robots:

- gran precisión y repetitividad
- no es preciso que manejen grandes cargas

#### 10.2.9. Paletización

Consiste en poner piezas sobre plataformas o bandejas

#### Características de los robots:

- manejo de grandes cargas

#### 10.2.10. Control de calidad

El robot participa en esta tarea usando en su extremo un palpador para realizar el dimensionado de las piezas fabricadas. También transporta aparatos de medida para localizar defectos en las piezas.

#### 10.2.11 Manipulación en salas blancas

Se utilizan en procesos que deben ser realizados en procesos extremadamente limpios.

### **10.3. ROBOTS DE SERVICIOS**

Es un dispositivo electromecánico móvil o estacionario, con uno o más brazos mecánicos, capaces de acciones independientes.

Se utilizan en sectores como agricultura, medicina, industria nuclear, submarinos, ayuda a discapacitados, construcción, domésticos, entornos peligrosos, espacio, minería.

Estos robots cuentan con un mayor grado de inteligencia que se traduce en el empleo de sensores, y software específico para la toma de decisiones. También es frecuente que cuenten con un mando remoto, teleoperados.

#### 10.3.1. Industria nuclear

##### **inspección de tubos del generador de vapor de un reactor nuclear:**

Debido al riesgo de exposición a la radiación, surge la necesidad de utilización de sistemas robotizados, para ello puede utilizarse un robot de desarrollo específico que introducido en la vasija posiciona una sonda en la boca de cada tubo, proporcionando información sobre el mismo.

**Manipulación de residuos radiactivos:** Debido a la cantidad de residuos que proporciona la industria nuclear, es necesario el uso de telemanipuladores o sistemas con mando remoto para posicionarlos o incluso fragmentarlos.

#### 10.3.2. Medicina

**microcirugía:** Con ayuda de un escáner, un ordenador registra la información suficiente sobre el cerebro para que el equipo médico decida donde realizar la incisión. El robot decide que tanto la incisión como la toma de muestras se realice con la máxima precisión y en un tiempo inferior al habitual.

Además se ofrecen campos como la telecirugía y el telediagnóstico.

#### 10.3.3. Construcción

Las condiciones existentes en la construcción, hacen posible la implantación de robots, en algunos casos parcialmente teleoperados, siendo posible en los siguientes campos:

- operaciones de colocación de elementos
  - construcción de estructuras básicas
  - posicionamiento de piezas grandes y pesadas
  - soldaduras en la estructura
- operaciones de tratamiento de superficies
  - pulido
  - pintura
  - extensión de material sobre la superficie
- operaciones de rellenado
  - encofrados
  - excavación
  - rellenado
- otras
  - inspección y control

ASIGNATURA	CARRERA	Código de Carrera	Código de asignatura
ROBÓTICA	Sistemas	40	312
ROBÓTICA	Gestión	41	307

Fecha: 26-Ene-2001 (1ª Semana)

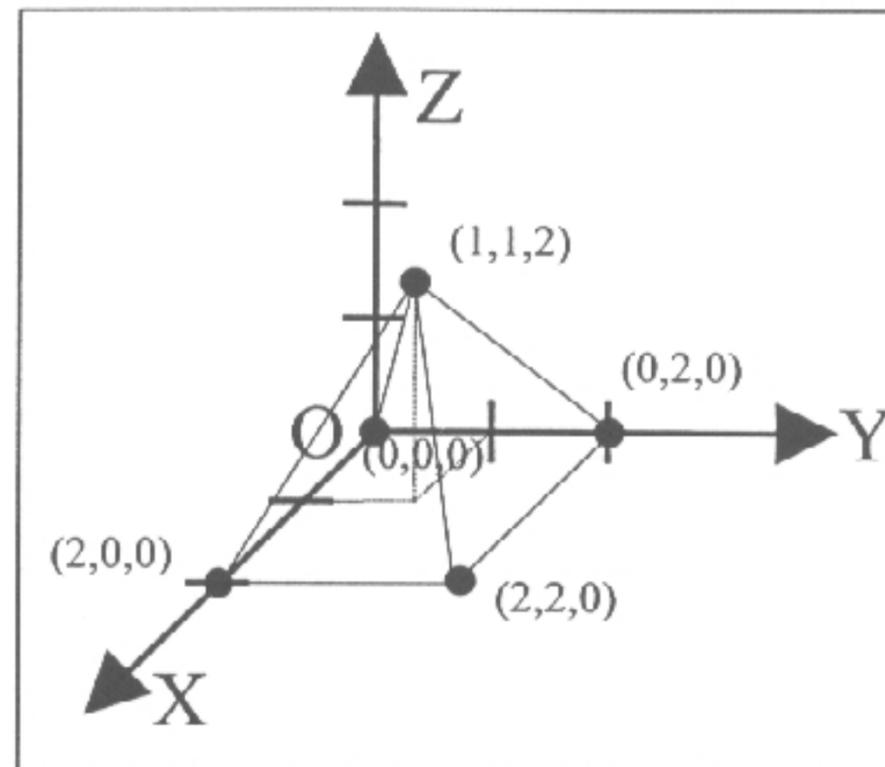
Hora: 11:30h

Duración: 2horas

Material permitido: **Calculadora no programable****PROBLEMA**

Sea el conjunto de puntos cuyas coordenadas en el sistema de referencia base OXYZ delimitan una pirámide como la que aparece en la figura. Supóngase que se efectúan los siguientes movimientos de dicha pirámide y en este orden:

- Rotación en torno al eje Z del sistema base (OXYZ) un ángulo de  $+90^\circ$ .
- Rotación en torno al eje Y del nuevo sistema generado tras el movimiento anterior (OUVW) un ángulo de  $-90^\circ$ .
- Rotación en torno al eje X del sistema base (OXYZ) un ángulo de  $+90^\circ$ .



Se pide:

- Obtener las matrices de rotación correspondientes a cada movimiento, así como la composición correcta de los tres.
- Obtener las nuevas coordenadas en el sistema base de todos los puntos de la pirámide una vez realizados todos los movimientos.
- Comprobar estas operaciones usando cuaternios, es decir, calcular el cuaternio equivalente al conjunto de movimientos y aplicar el cuaternio resultante a los puntos de la pirámide.

NOTAS: Se recuerdan los siguientes datos de interés en relación con los cuaternios:

- El producto interno de dos cuaternios  $Q_3 = Q_1 \circ Q_2$ , tales que  $Q_3 = (q_{30}, q_{31}, q_{32}, q_{33})$ ,  $Q_1 = (q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13})$  y  $Q_2 = (q_{20}, q_{21}, q_{22}, q_{23})$  se calcula según las expresiones:
 
$$q_{30} = q_{10} \cdot q_{20} - (q_{11} \cdot q_{21} + q_{12} \cdot q_{22} + q_{13} \cdot q_{23})$$

$$q_{31} = q_{10} \cdot q_{21} + q_{11} \cdot q_{20} + q_{12} \cdot q_{23} - q_{13} \cdot q_{22}$$

$$q_{32} = q_{10} \cdot q_{22} + q_{12} \cdot q_{20} + q_{13} \cdot q_{21} - q_{11} \cdot q_{23}$$

$$q_{33} = q_{10} \cdot q_{23} + q_{13} \cdot q_{20} + q_{11} \cdot q_{22} - q_{12} \cdot q_{21}$$
- El cuaternio que representa un giro de valor  $\theta$  sobre un eje  $\mathbf{k}$  es:  $Q = (\cos(\theta/2), \mathbf{k} \cdot \sin(\theta/2))$ .
- La composición de cuaternios sigue las mismas reglas que la composición de matrices de rotación con respecto al orden y el sistema de coordenadas (fijo o móvil) al que se refiere cada cuaternio.
- La aplicación de un cuaternio a un punto es:  $(0, \mathbf{r}') = Q \circ (0, \mathbf{r}) \circ Q^*$ , con  $Q^* = (s, -\mathbf{v})$  cuando  $Q = (s, \mathbf{v})$

(4 puntos)

**TEORÍA**

Desarrollar los siguientes temas:

- Definición y clasificación del robot. (Capítulo 1).
- Cinemática inversa. Planteamiento de la problemática e ideas sobre resolución por métodos geométricos. (Capítulo 4).
- Seguridad en instalaciones robotizadas. (Capítulo 9).

(2 puntos cada uno)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA**  
**Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión**  
**Curso 98/99, Convocatoria de Febrero**

<u>ASIGNATURA</u>	<u>CARRERA</u>	<u>Código de Carrera</u>	<u>Código de asignatura</u>
<b>ROBÓTICA</b>	<b>Sistemas</b>	<b>40</b>	<b>312</b>
<b>ROBÓTICA</b>	<b>Gestión</b>	<b>41</b>	<b>307</b>

Fecha: 29-Ene-1999 (1ª Semana)

Hora: 11:30h

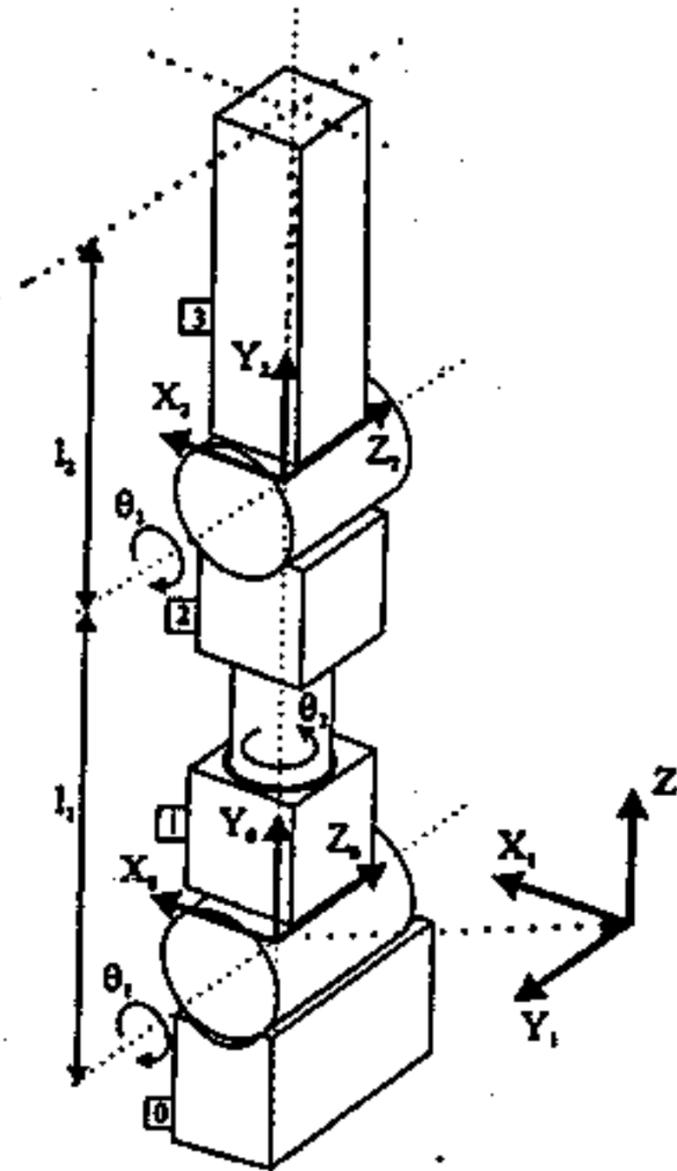
Duración: 2horas

Material permitido: **Calculadora no programable**

**PROBLEMA**

Sea un robot de tres grados de libertad como el de la figura. En la misma aparecen dibujados según la notación de DH todos los sistemas intermedios asociados a cada articulación, a excepción del  $S_3$ . También aparecen especificados en la figura todos los parámetros geométricos necesarios para completar su modelo cinemático. Se pide:

- 1º) Situar el sistema  $S_3$  en el lugar adecuado según el algoritmo de DH y a continuación obtener la tabla de parámetros DH del mismo.
- 2º) Obtener las matrices  ${}^{i-1}A_i$ , con  $i=1..3$ , así como la matriz T que definen el modelo cinemático para este robot.
- 3º) Calcular la posición y orientación del extremo del robot respecto al sistema base  $S_0$  para las configuraciones definidas por: a)  $(q_1, q_2, q_3) = (45^\circ, 0^\circ, 45^\circ)$ . b)  $(q_1, q_2, q_3) = (0^\circ, 90^\circ, 90^\circ)$ .



(4 puntos)

**TEORÍA**

Desarrollar los siguientes temas:

1. Sensores internos. (Capítulo 2).
2. Requerimientos de un sistema de programación de robots. (Capítulo 8).
3. Características a considerar en la selección de un robot. (Capítulo 9).

(2 puntos cada uno)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA  
Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión  
Curso 97/98, Convocatoria de Septiembre

ASIGNATURA	CARRERA	Código de Carrera	Código de asignatura
ROBÓTICA	Sistemas	40	312
ROBÓTICA	Gestión	41	307

Fecha: 19-Sep-1998 (Reserva)

Hora: 16:00h

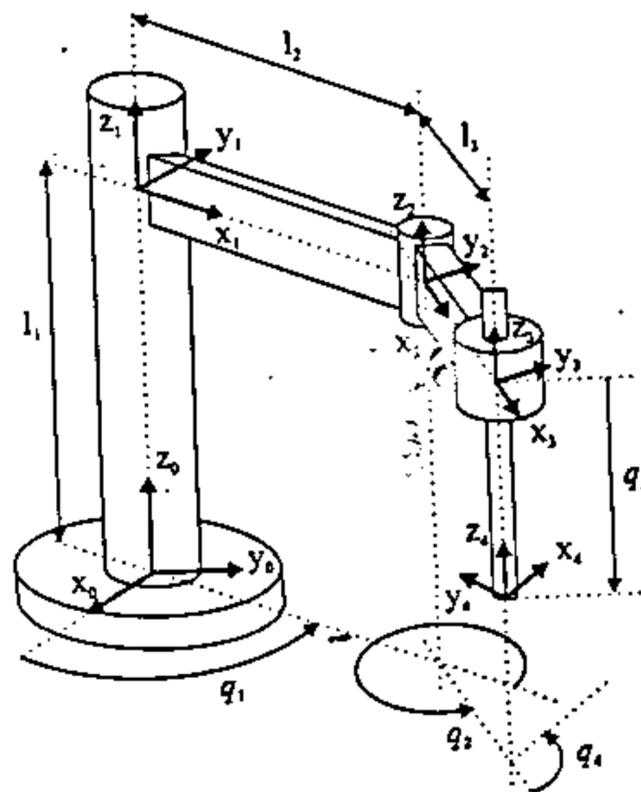
Duración: 2 horas

Material permitido: **Calculadora no programable**

### PROBLEMA

Sea el robot de tipo SCARA representado en la figura donde aparecen todos los sistemas intermedios asociados a cada articulación así como los parámetros geométricos que permiten componer un modelo matemático del mismo. Se pide:

- Determinar una tabla de parámetros del robot (cuatro parámetros por cada articulación), así como las matrices  ${}^{i-1}A_i$  correspondientes.
- Hallar la matriz de transformación  $T$  que resuelve el problema cinemático directo para este robot.
- Determinar la posición y orientación del extremo del robot para unas coordenadas articulares  $(q_1, q_2, q_3, q_4) = (0^\circ, 0^\circ, l_1/2, 90^\circ)$ .



(4 puntos)

### TEORÍA

Desarrollar los siguientes temas:

- Actuadores. (Capítulo 2).
- Requerimientos de un sistema de programación de robots. (Capítulo 8).
- Nuevos sectores de aplicación de los robots. Robots de servicio. (Capítulo 10).

(2 puntos cada uno)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA  
Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión  
Curso 97/98, Convocatoria de Febrero

ASIGNATURA	CARRERA	Código de Carrera	Código de asignatura
<b>ROBÓTICA</b>	<b>Sistemas</b>	<b>40</b>	<b>312</b>
<b>ROBÓTICA</b>	<b>Gestión</b>	<b>41</b>	<b>307</b>

Fecha: 13-Feb-1998 (2ª Semana)                      Hora: 11:30h                      Duración: 2 horas  
Material permitido: **Calculadora no programable**

**PROBLEMA**

Un robot ha de programarse para descargar elementos situados dentro de un palet y cargarlos dentro de otro. Los elementos están situados en el palet de descarga (palet 1) en un modelo de 3x4 en una posición fijada conocida, con 40mm de separación en ambas direcciones. Se supone que las dos direcciones del palet son paralelas a los ejes de coordenadas universales x e y del robot. Los elementos han de situarse en el palet de carga (palet 2) en un modelo de 2x6, con 40mm de separación en ambas direcciones. Se supone, de nuevo, que las dos direcciones del palet son paralelas a los ejes de coordenadas universales x e y del robot. Se pide:

- 1) Hacer un dibujo del montaje del entorno de trabajo antes de comenzar la programación.
- 2) Realizar una breve descripción de los pasos del programa a desarrollar.
- 3) Programar la aplicación utilizando un lenguaje de programación textual como el Código-R (cuyo juego de instrucciones se reproduce).

Tabla 8.1. Instrucciones del lenguaje Código-R

Nom.	Parámetros	Descripción	Ejemplo
POSS	Variable posición (x,y)	Posiciona el extremo del robot en la posición especificada.	POSS Pa
SBR	Nº Subrutina	Llamada a una subrutina.	SBR 300
BUC	Nºrep. identificador	Bucle de repetición.	BUC 5, 1
REP	Identificador de bucle	Fin de bucle.	REP 1
OPE	Var.Operacion,Var	Realización de una operación entre variables.	OPE Pv=Pa+Pi
SAL*	Nº de línea, condición	Salto condicional.	SAL* 100, Ea=1
SAL	Nº de línea	Salto incondicional.	SAL 104
EST	Valor numérico	Esperar un tiempo en segundos.	EST 2
GPZ	Variable orientación	Girar pinza a una orient.	GPZ Oa
ESE	Id. Entrada = valor	Esperar entrada.	ESE Ea=1
RET	-	Retorno de subrutina.	RET
VEL	tipo y velocidad	Asignar velocidad.	VEL a=2000
MON	Id entrada = valor, línea de salto, tiempo de espera	Monitoriza el valor de una señal un tiempo, si la señal toma el valor indicado salta a línea.	MON Ea=1,506,30
VAR	Id.variable = posición	Definición de var. de posición.	VARPa= 100,100
VARa	Id.variable = orientación	Definición de var. de orientación.	VARa Op = 100
SUB	-	Subir la pinza.	SUB
BAJ	-	Bajar la pinza.	BAJ
SLD	Id.Salida = valor, tiempo	Activar salida durante un tiempo. Por defecto es siempre.	SLD Sn=1,10

(4 puntos)

**TEORÍA**

Desarrollar los siguientes temas:

1. Actuadores. (Capítulo 2).
2. Funciones del control cinemático y tipos de trayectorias. (Capítulo 6).
3. Nuevos sectores de aplicación de los robots: Robots de servicio. (Capítulo 10).

(2 puntos cada uno)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA  
Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión  
Curso 97/98, Convocatoria de Febrero

ASIGNATURA	CARRERA	Código de Carrera	Código de asignatura
ROBÓTICA	Sistemas	40	312
ROBÓTICA	Gestión	41	307

Fecha: 30-Ene-1998 (1ª Semana)

Hora: 11:30h

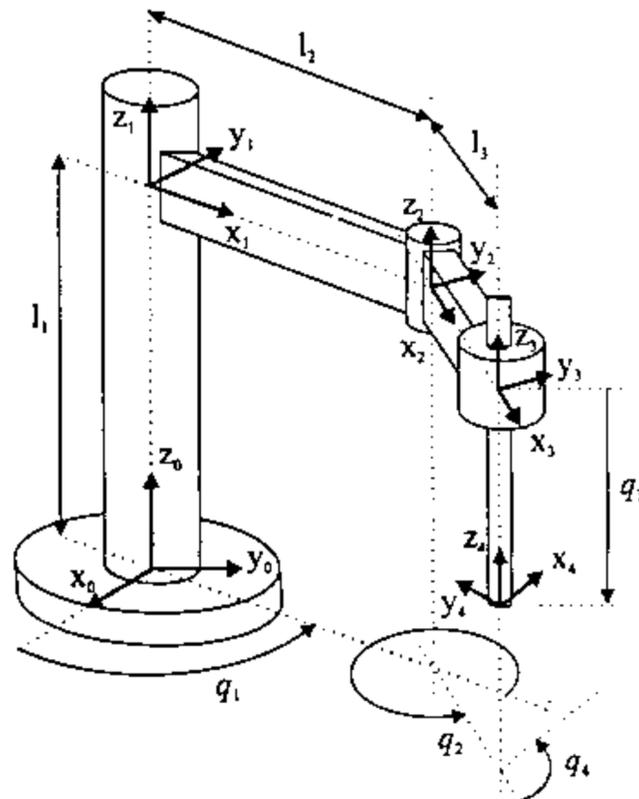
Duración: 2horas

Material permitido: **Calculadora no programable**

### PROBLEMA

Sea el robot de tipo SCARA representado en la figura donde aparecen todos los sistemas intermedios asociados a cada articulación así como los parámetros geométricos que lo definen. Se pide:

- Determinar la tabla de parámetros DH del robot, así como las matrices  ${}^{i-1}A_i$  correspondientes.
- Hallar la matriz de transformación T que resuelve el problema cinemático directo para este robot.
- Determinar la posición y orientación del extremo del robot para unas coordenadas articulares  $(q_1, q_2, q_3, q_4) = (90^\circ, 90^\circ, l_1/2, -90^\circ)$ .



(4 puntos)

### TEORÍA

Desarrollar los siguientes temas:

- Transmisiones y reductores. (Capítulo 2).
- Requerimientos de un sistema de programación de robots. (Capítulo 8).
- Seguridad en instalaciones robotizadas. (Capítulo 9).

(2 puntos cada uno)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas y de Gestión Curso 97/98,

**ROBÓTICA**

Fecha: 18-Sep-1998 (Original)

Hora: 1 1:30h

Duración: 2 horas

Material permitido: **Calculadora no programable**

**PROBLEMA**

1.) Obtener la matriz de transformación que representa las siguientes transformaciones sobre un sistema OXYZ fijo de referencia: traslación de un vector  $P_{xyz}$  (3,-10,1 0); giro de 90° sobre el eje O'V del sistema trasladado y giro de 90° sobre el eje O'U del sistema girado, representando gráficamente la secuencia de operaciones realizada, así como los sistemas de coordenadas intermedios que aparezcan.

2.) Obtener e interpretar la secuencia de transformaciones referidas al sistema de referencia fijo que resulta equivalente a la anterior matriz de transformación compuesta. Realizar igualmente la representación gráfica de los pasos intermedios.

3) Calcular las nuevas coordenadas de los vértices de un cubo de lado 2 situado inicialmente en el origen de coordenadas del sistema OXYZ sobre los semiejes positivos del mismo, cuando se les aplica la secuencia de operaciones definidas en el punto 1.).

(4 puntos)

**TEORÍA**

Desarrollar los siguientes temas:

1. Transmisiones y reductores.(Capitulo 2).
2. Funciones del control cinemático y tipos de trayectorias. (Capitulo 6).
3. Seguridad en instalaciones robotizadas (Capitulo 9).

(2 puntos cada una)

