



# AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

## TEMA 14 (Teoría - Práctica)

### Criterios de implantación de un robot industrial

1



### Criterios de implantación de un robot industrial

1. Introducción.
2. Diseño de la célula robótica.
3. Selección del sistema robótico.
4. Ejemplos.

2

## ■ Criterios de implantación de un robot industrial

### ■ Objetivos

- Conocer los distintos tipos de células robóticas posibles y la disposición del robot dentro de la misma.
- Conocer y dominar las características más importantes de un robot comercial para su uso en una aplicación determinada.
- Tener la capacidad de saber elegir un robot específico para una aplicación industrial.

3

 Ingeniería Informática

# 1. INTRODUCCIÓN

4

## Introducción

- Objetivo fundamental de la automatización
  - Obtener rendimientos económicos (a corto o largo plazo).
- Tareas del Ingeniero de la planta industrial
  - 1. Evaluación técnico-económica del proyecto de automatización.
  - 2. Selección de la solución tecnológica (medios a utilizar).



Diseño de la célula de trabajo robotizada (*layout*)  
 Selección del robot más adecuado para la aplicación  
 Consideración de la seguridad de la célula de trabajo

*Normas UNE-EN/ISO*

5

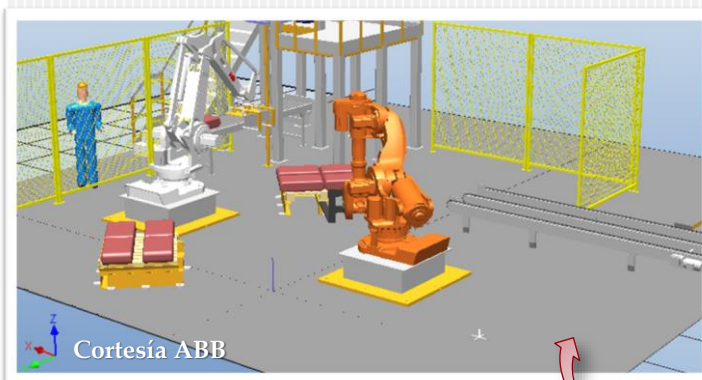


## 2. DISEÑO DE LA CÉLULA ROBÓTICA

6

## Definición del *Layout*

- *Layout* o plano de implantación



Simulador 3D de  
sistemas robotizados

### Aspectos a tener en cuenta

- 1. Selección adecuada robots
- 2. Elementos periféricos
  - Activos (CNC, cinta, etc.)
  - Pasivos (almacén, mesas, etc.).
- 3. Arquitectura de control.
  - Hardware, Software.
- 4. Disposición relativa de los elementos.



Proceso iterativo

7

## Tipos de células

- Células de un único robot.
  - Robot incorporado a la máquina de producción (1).
  - Robot introducido entre los equipos de producción (2).
  - Robot atendiendo a un grupo de máquinas (3).

(1)



(2)



(3)



8

## Tipos de células

- Células de robot múltiple.
  - Robots trabajando en línea (1).
  - Múltiples robots dando servicios a distintas máquinas (2).



9

## Disposición del robot en la célula

- Robot en el centro de la célula
  - Robot rodeado del resto de elementos.
  - Típica disposición para robots tipo SCARA. 
  - Se utiliza para posicionamiento, carga-descarga en CNC, paletizado y ensamblado.



- Robot en línea
  - Robot fijo para trabajar sobre elementos situados
  - Transporte intermitente o continuo.
  - Líneas de soldadura de carrocerías de vehículos.



10

## Tipos de células

- Células de robot múltiple.
  - Sistemas twin (1), triple (2) o cuádruple ➡ **Soldadura**
    - Integración de varios robots para realizar una operación conjunta.
    - Conjunto de varios robots integrados bajo un mismo control, con la posibilidad de trabajar de forma coordinada y con sincronismo entre ellos.



«Imágenes cortesía de Motoman y Stäubli»

11

## Disposición del robot en la célula

- Robot móvil
  - El robot se sitúa sobre una vía que permita su desplazamiento lineal.
  - Puede dar servicio a varias máquinas y seguir el movimiento de una pieza sobre un transporte continuo.
  - Esta disposición cubre un elevado campo de acción (muy útil en la tarea de pintura de carrocerías de coches).

Ejes base  
(tracks)



Track neumático trasversal



Track servo-controlado

«Imágenes cortesía de Motoman»

12

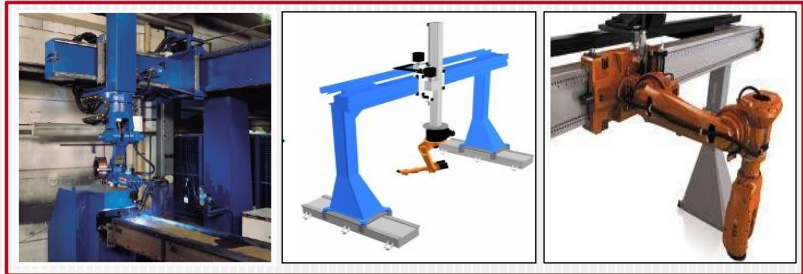


## Disposición del robot en la célula

### Robot suspendido

- Robot tipo pórtico/cartesiano situado sobre el área de trabajo.
- Robot articular invertido sobre la célula → mejor aprovechamiento del espacio de trabajo.
- Operaciones típicas: aplicación de adhesivos, pintura, corte (láser, agua), etc.

*Ejes base  
(Sistema Gantry)*



13

## Disposición del robot en la célula

Robot móvil



Robot suspendido

14

## Otros elementos periféricos

- Elementos auxiliares de posicionamiento
  - Para posicionar las piezas, a veces es necesario mover o girar las piezas para colocarlas en una posición óptima para realizar la tarea del robot.
  - Los **posicionadores** o **ejes externos** (no están en contacto con el robot) permiten el posicionamiento de piezas en el espacio de trabajo del robot y otorgan a la célula robotizada de la posibilidad de zona de carga/descarga para el operario.
  - La programación de los ejes se realiza desde la consola de programación del robot (se conecta al controlador del propio robot).
  - Puede ser neumáticos o servo-controlados.

15

## Otros elementos periféricos

- Elementos auxiliares de posicionamiento

*Ejes externos  
Posicionadores*



Posicionamiento de utillajes



Mesa giratoria carga/descarga



Posicionamiento de piezas

«Imágenes cortesía de ABB, Fanuc y Motoman»

16

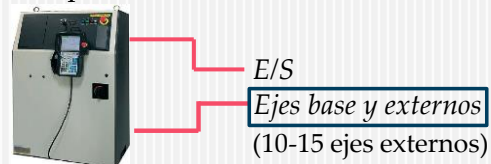


## Características del sistema de control de la célula

Establecidos los elementos de la célula, es necesario diseñar y especificar el sistema de control

- **Control individual** de cada máquina de la célula.
- **Sincronización** entre las distintas máquinas, sensores y células.
- **Detección y tratamiento** de los errores.
- **Interfaz con el operario** para conocer el estado del sistema (HMI).
- **Interfaz de supervisión** a nivel superior para realizar funciones de control de producción, control de calidad, etc.

*Controlador robot*



17

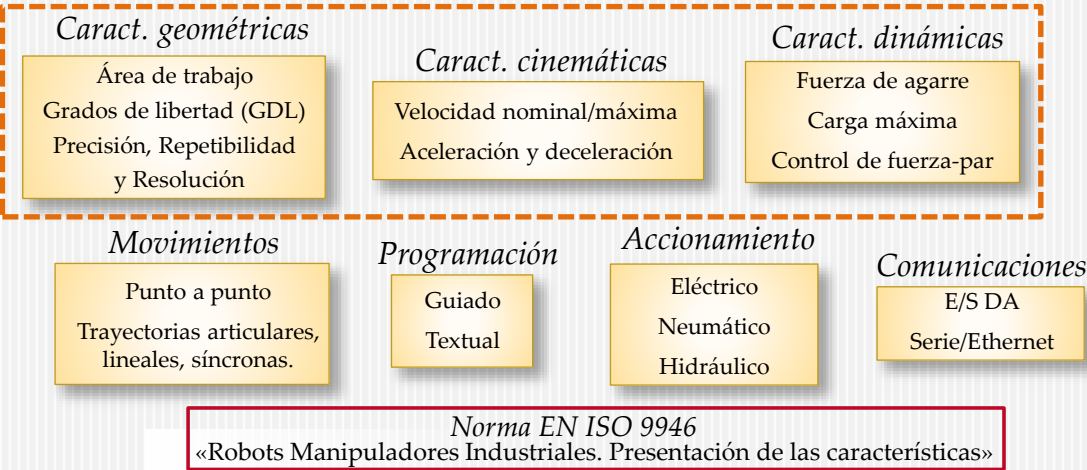


## 3. SELECCIÓN DEL ROBOT

18

# Introducción

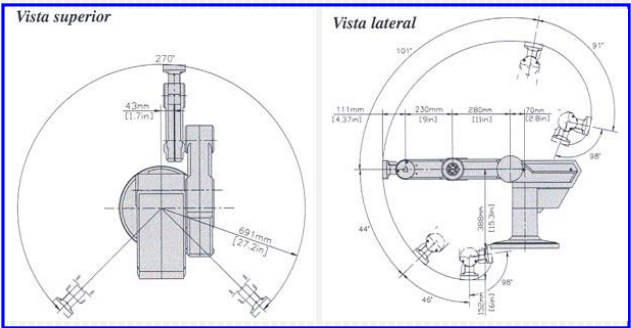
- Selección del modelo de robot más adecuado



19

# Área de trabajo

- Espacio o volumen espacial (*workspace*) definido por el conjunto de puntos a los que pueden llegar el elemento terminal del robot (dado por el fabricante).
- El *workspace* está determinado por el tamaño, forma, tipo de eslabones (R/P) y limitaciones de movimiento hardware y software.



Scorbot ER-IX 5GDL

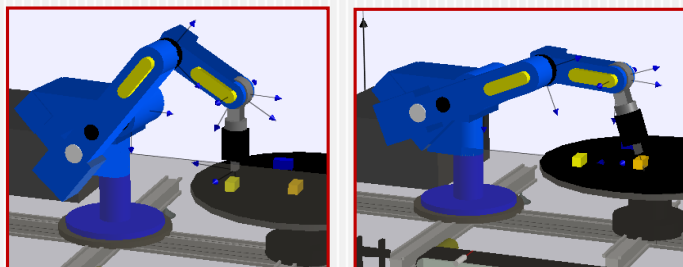
## Elección

El *área de acción* del robot debe permitirle llegar a todos los puntos necesarios para llevar a cabo su tarea

20

## Área de trabajo

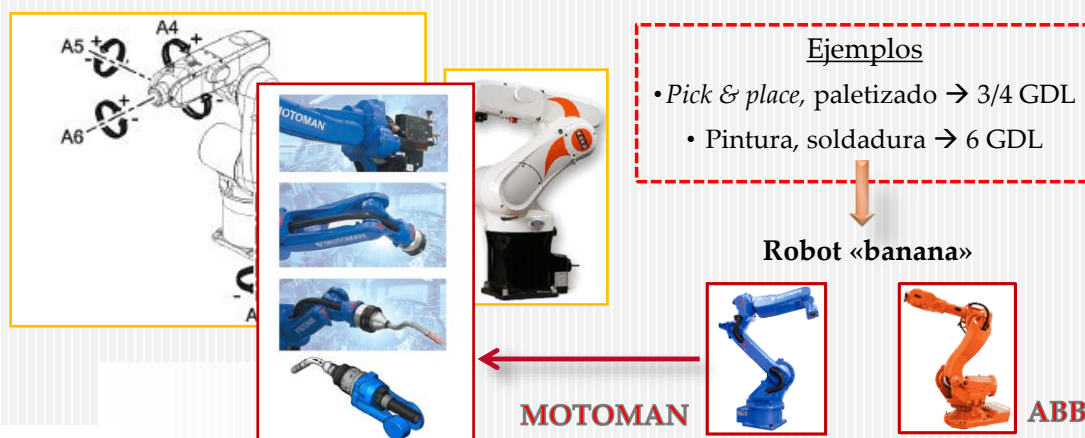
- **Importante:** que el robot pueda acceder a todo el espacio de trabajo no significa que lo pueda realizar con cualquier orientación.
- Hay que tener en cuenta posibles **singularidades** del robot: determinada orientación del robot que no admiten una trayectoria lineal ya que implicaría un movimiento de velocidad infinitiva.
- Hay que verificar que el robot dentro de su *workspace* no colisiona con ningún elemento



21

## Grados de libertad (GDL)

- Los GDL de un robot determinan su accesibilidad y su capacidad para orientar el efector final. **Número GDL = Número de articulaciones.**
- La elección de los GDL necesarios viene determinada por el tipo de aplicación.



22

## Grados de libertad (GDL)

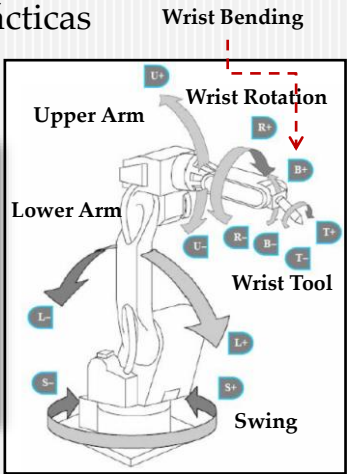
- Nomenclatura para definir los GDL en guías prácticas
  - Normalmente se les denomina ejes (*axis/axes*).
  - Pueden adoptar otra nomenclatura o definición.



FANUC

Controlled axes		6 axes (J1, J2, J3, J4, J5, J6)	
Motion range (Maximum speed)	J1 axis rotation	360°	(110°/sec)
	J2 axis rotation	6.28 rad	(1.92 rad/sec)
	J3 axis rotation	136°	(110°/sec)
	J4 axis rotation	2.37 rad	(1.92 rad/sec)
	J5 axis rotation	362°	(110°/sec)
	J6 axis rotation	6.32 rad	(1.92 rad/sec)
Note1)	J4 axis wrist rotation	720°	(150°/sec)
	J5 axis wrist rotation	12.57 rad	(2.62 rad/sec)
	J5 axis wrist swing	250°	(150°/sec)
	J6 axis wrist swing	4.36 rad	(2.62 rad/sec)
	J6 axis wrist rotation	720°	(220°/sec)
		12.57 rad	(3.84 rad/sec)

Eje S  
Eje L  
Eje U  
Eje R  
Eje B  
Eje T



MOTOMAN

23

## Precisión, repetibilidad y resolución

- Las ventajas del robot, además de la flexibilidad y velocidad, es el bajo **error de posicionamiento**.
- Para la definición de este error es necesario tener en cuenta tres conceptos complementarios: **precisión**, **repetibilidad** y **resolución**.
- El dato normalmente suministrado por los fabricantes es el de repetibilidad, y éste es el utilizado a la hora de seleccionar un robot u otro por su exactitud.

Datos básicos

Modelo	KR 5 sixx R650, KR 5 sixx R850
Cantidad de ejes	6
Volumen del campo de trabajo	KR 5 sixx R650 1,0 m <sup>3</sup> KR 5 sixx R850 2,3 m <sup>3</sup>
Repetibilidad (ISO 9283)	KR 5 sixx R650 ±0,02 mm
	KR 5 sixx R850 ±0,03 mm

Norma UNE EN ISO 9283  
«Robots Manipuladores Industriales. Criterios de análisis de prestaciones»

24

## ■ Precisión, repetibilidad y resolución

### ■ Resolución

- Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control
- Su valor está limitado por:
  - Resolución de los captadores de posición (*encoders*) y los convertidores A/D y D/A.
  - Número de bits con los que puede trabajar la CPU del sistema de control del robot.
  - Elementos motrices para el movimiento del robot.

25

## ■ Precisión, repetibilidad y resolución

### ■ Precisión

- Distancia entre el punto programado y el punto realmente alcanzado (valor medio tras varios ciclos de trabajo).
- Su valor está limitado por:
  - Errores de calibración del robot.
  - Deformaciones permanentes por origen térmico o mecánico.
  - Errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática (especialmente en la cercanía de puntos singulares).
  - Errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot.

26

## Precisión, repetibilidad y resolución

### ■ Repetibilidad

- Radio de la esfera que comprende los puntos alcanzados por el robot tras realizar suficientes movimientos, al ordenarle ir desde el mismo punto origen al mismo punto destino, con condiciones de velocidad, carga, temperatura, etc. iguales.
- Su valor está limitado por:
  - Problemas en el sistema mecánico de transmisión: rozamientos, histéresis, zonas muertas, etc.



#### Valor de Repetibilidad

Media de las distancias al punto medio alcanzado más tres veces la desviación estándar.

Valor entre 0,25-0,01 mm para robots comerciales (actualidad)

27

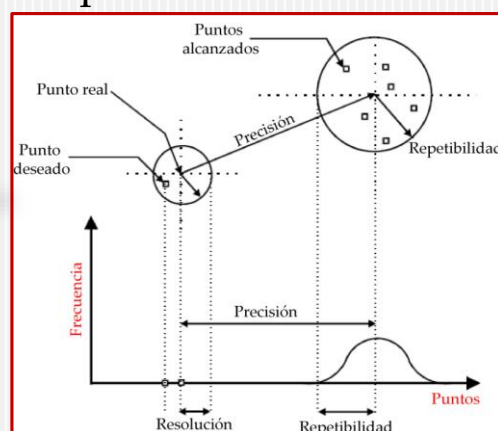
## Precisión, repetibilidad y resolución

### ■ Visualización de todos los conceptos

Imagen con todos los parámetros definidos

### ■ Otros datos de interés (Relativos a error de posición)

- Los robots cartesianos y de reducidas dimensiones son más precisos.
- Trayectoria programada: número de puntos y la velocidad de la interpolación determina la precisión.




28



## Velocidad

- La velocidad con la que el robot en una tarea determinada puede moverse es un **parámetro fundamental** en el diseño de la célula → nos permite ajustar los tiempos del ciclo productivo.
- La velocidad a la que puede moverse el robot es 1/k a la carga transportada.
- En los catálogos, la velocidad del robot suele darse de dos maneras (suelen ser valores nominales con una determinada carga):
  - Velocidad de cada una de las articulaciones.
  - Velocidad del extremo.



Eje	Rango de desplazamiento, limitado por software	Velocidad con carga nominal 5 kg
1	+/-170°	375 °/s en el R650 250 °/s en el R850
2	+45° hasta -190°	300 °/s en el R650 250 °/s en el R850
3	+165° a -119°	375 °/s en el R650 250 °/s en el R850
4	+/-190°	410 °/s
5	+/-120°	410 °/s
6	+/-358 °	660 °/s

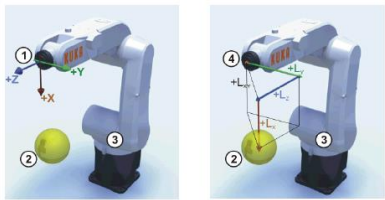
29

## Capacidad de carga

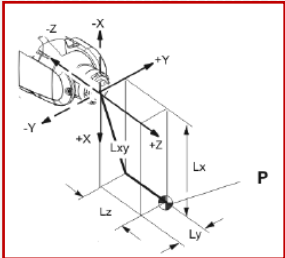
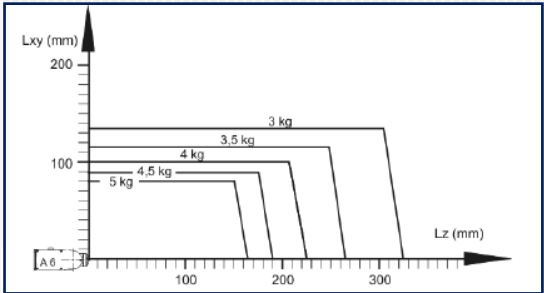
- Carga capaz de manipular un robot serial
  - Determinada por el tamaño, configuración y sistema de accionamiento.
  - Se debe considerar el peso de la herramienta más el del objeto manipulado.
  - Además de la carga, se deben tener en cuenta los momentos de inercia.
  - Los fabricantes suelen proporcionar una tabla con la posible disminución de la carga a medida se aleja el c.d.g. del objeto y el efector final.
  - El dato proporcionado es la carga nominal que puede transportar sin disminuir sus prestaciones dinámicas y en su configuración más desfavorable.
  - Algunas fabricantes indican poder aumentar esta carga a unas velocidades y aceleraciones inferiores.

30

Capacidad de carga







Robots	KR 5 sixx
Muñeca central	MC 5
Carga útil nominal	5 kg
Distancia al centro de gravedad de la carga $L_x$	80 mm
Distancia al centro de gravedad de la carga $L_y$	0 mm
Distancia al centro de gravedad de la carga $L_z$	150 mm
Carga máx. total	5 kg



31

Características de algunos robots

Fabricante	Modelo	Tarea	Tipo	GDL	Carga (kg)	Vmax (u/s)	Repetibilidad (mm)	Imag.
ABB	<a href="#">IRB 2400L</a>	General Soldadura	Articular	6	7	150°/s 460°/s	±0,06	
ADEPT	<a href="#">Cobra S350</a>	Ensamble P&P	SCARA	4	5,5	720°/s 2000m/s	X/Y = ±0,015 Z = ±0,01 Theta = 0,005°	
FANUC	<a href="#">R-2000 iB</a>	Alta carga	Articular	6	165	90 °/s	±0,2	
MOTOMAN	<a href="#">HP20-6</a>	Soldadura Corte Manipul.	Articular	6	6	170°/s 525°/s	±0,06	

32

## Características deseables en un robot según su aplicación

PINTURA	PALETIZACIÓN	SOLDADURA
<ul style="list-style-type: none"><li>-Programación por guiado</li><li>-Estructura antropomórfica con 6 GDL</li><li>- Buen acceso a todos los puntos con dif. orientación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Elevada capacidad de carga</li><li>-Relación alta entre el área de trabajo y tamaño del robot</li><li>-Control PTP</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Buen control de trayectoria en posición y velocidad</li><li>-Control PTP</li><li>-Rapidez</li><li>- Estructura de 6 GDL</li></ul>
ENSAMBLADO		
	<ul style="list-style-type: none"><li>-Elevada precisión y rapidez</li><li>-Sistema sensorial avanzado (visión, fuerza)</li><li>-Potencia del sistema de programación</li></ul>	

33

## Fabricantes de robots comerciales

**ABB**



**adept**



**FANUC**  
ROBOTICS



Lista de fabricantes



**STÄUBLI**  
ROBOTICS



**MOTOMAN**  
YASKAWA company



34



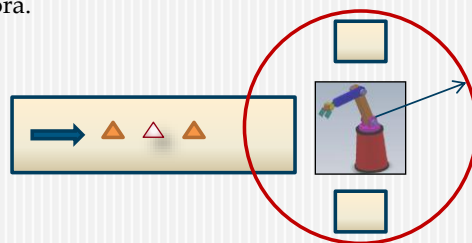
## 4. EJEMPLO

35



### Ejercicio 1. Selección robot en una célula de fabricación flexible

- A partir de los siguientes datos, se debe seleccionar el robot más adecuado para la tarea de uno de los fabricantes proporcionados.
  - Seleccionador de piezas de una cinta transportadora.
  - Peso de las piezas: 4-5 kg.
  - Rango de trabajo radial máximo : 0,35 m.
  - Velocidad de posicionamiento XYZ: 1,5-2 m/s
  - Repetibilidad:  $\pm 0,01$  mm.



- **Nota:** Existen fabricantes especializados en robots para posicionamiento

36



Ingeniería Informática



# AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

## TEMA 14 (Teoría - Práctica)

### Criterios de implantación de un robot industrial