



2.- Estudio del manipulador

- **2.1 Morfología de los robots industriales**
 - (Apartados 2.1, 2.2, 2.5 y 9.2 de BARRIENTOS)
 - (Apartados 2.1, 2.2 y 2.3 de TORRES)
- **2.2 Análisis geométrico y cinemático**
 - (Capítulos 3 y 4 de BARRIENTOS y TORRES)
- **2.3 Análisis dinámico**
 - (Capítulo 5 de BARRIENTOS y TORRES)



Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

Objetivo : **Situar** objetos en el espacio

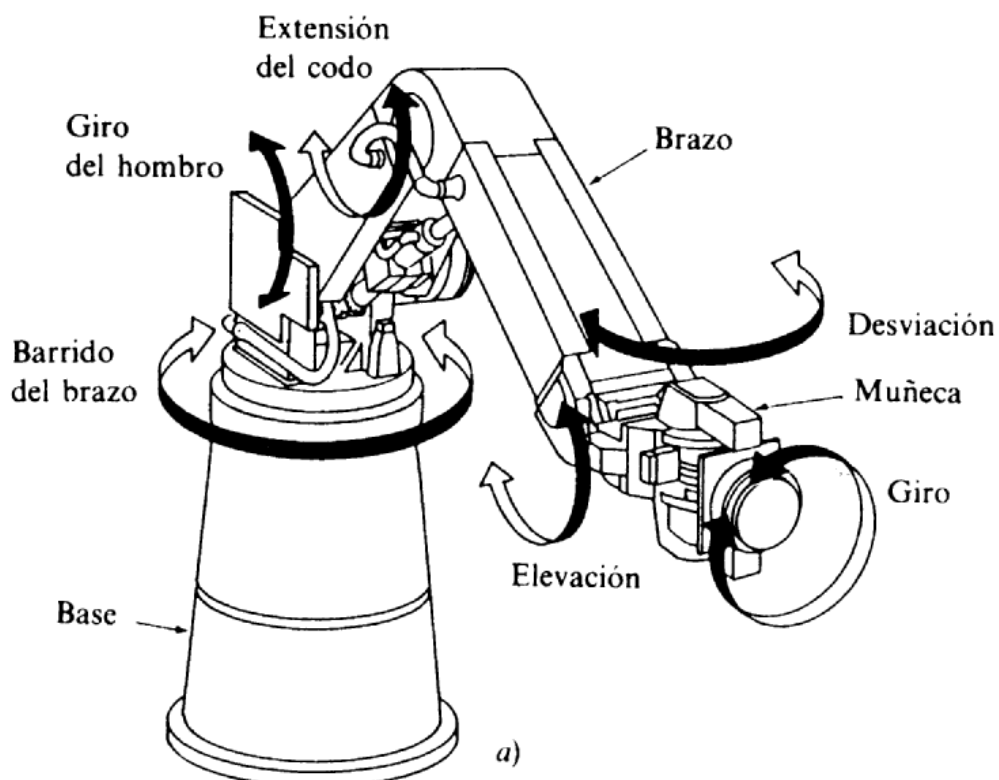
- Posicionar (Necesarios 3 g.d.l.).
- Orientar (Necesarios 3 g.d.l.).

Manipulador: **Estructura poliarticulada**:

- **Eslabones** (Sólidos rígidos)
- Pares cinemáticos (**articulaciones**)

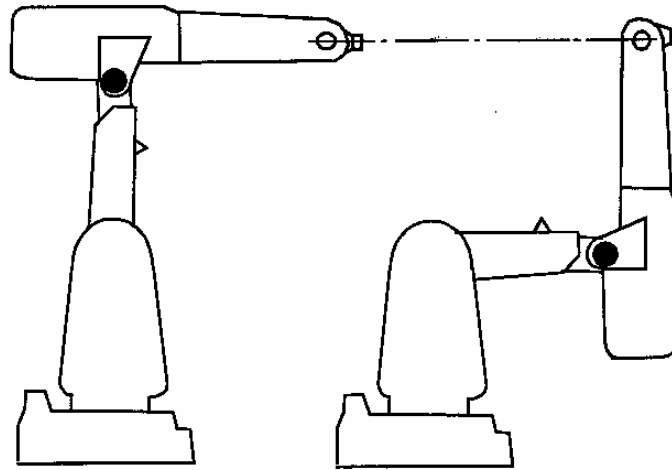
Formada por:

- **Brazo** (posicionamiento muñón)
- **Muñeca** (orientación definitiva)
- **Organo terminal**



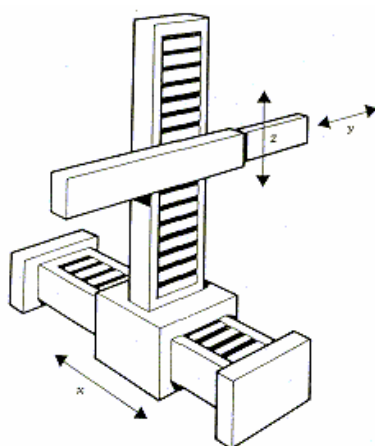
Configuración geométrica

- **Matemática** (formal): vector descriptivo de la geometría articular formado por las variables articulares.
- **Cualitativa** (gestual): descriptiva de la *postura* del robot.

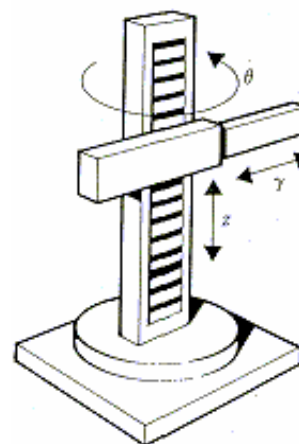


Estructuras mecánicas

Condicionadas por la naturaleza y secuenciación de las articulaciones



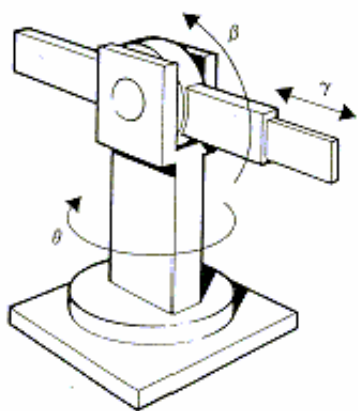
Cartesiana



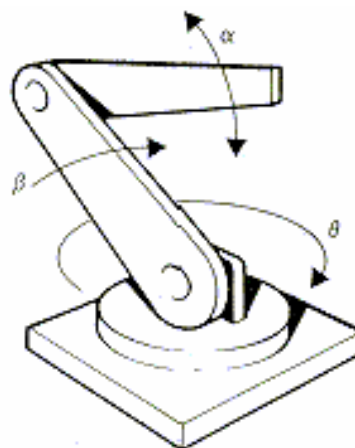
Cilíndrica



Estructuras mecánicas



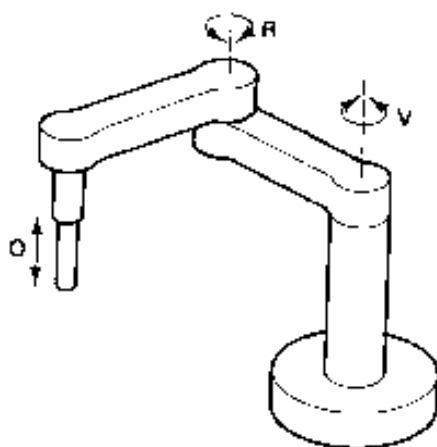
Polar



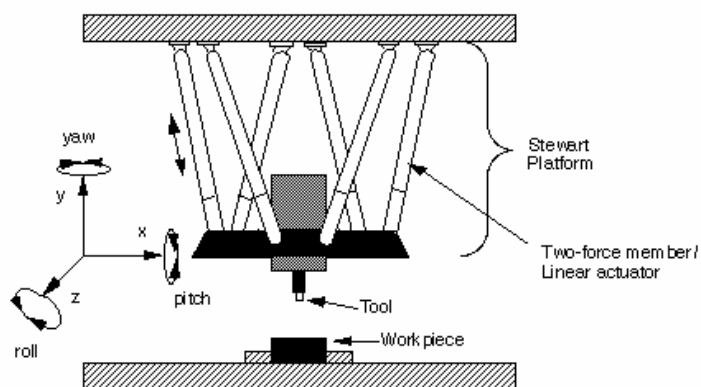
Angular



Estructuras mecánicas



Scara



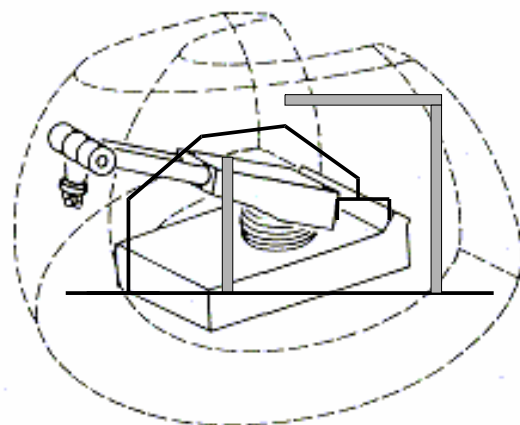
Paralelo

Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

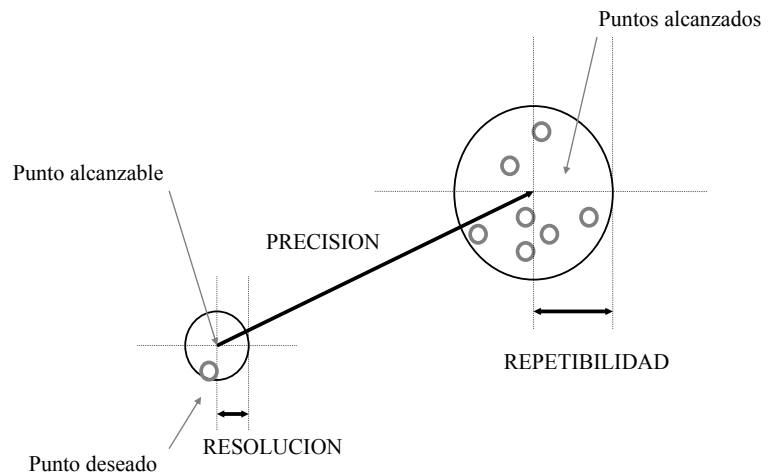
Características estructurales

- Numero de articulaciones
- Características geométricas y mecánicas de los eslabones
- Emplazamiento de accionamientos
- Rigidez estructural
- Frecuencia de resonancia
- Rango articular
- Volumen de trabajo
- Accesibilidad



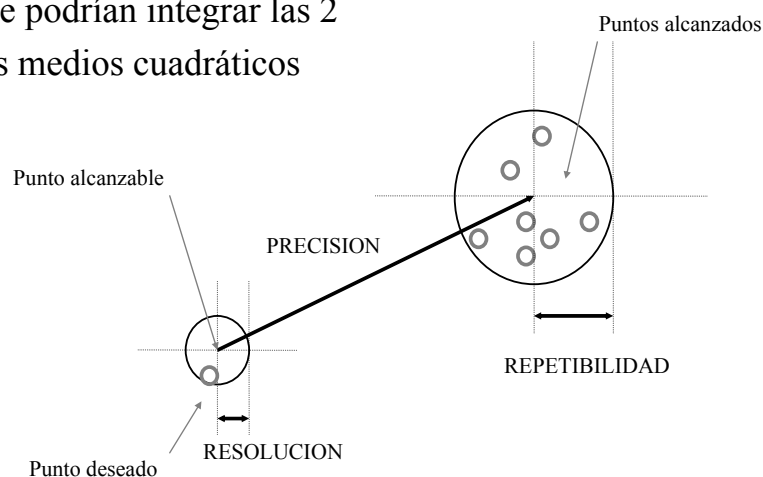
Prestaciones

- Velocidades y aceleraciones máximas
- Precisión estática
- Precisión dinámica
- Repetibilidad
- Resolución espacial
- Capacidad de carga



Precisión estática vs. repetibilidad

- Suele darse sólo para posición
- En ocasiones se da para orientación
- Formalmente se podrían integrar las 2
- Se usan valores medios cuadráticos



Precisión estática: una métrica

- Desde diferentes config. Láncese el robot a un destino (x_d, y_d, z_d)
- Posiciones alcanzadas: (x_i, y_i, z_i)
- Calcúlense los Errores Cuadráticos Medios en x, y, z
- Intégrense los RMS como suma euclídea

$$PE = \sqrt{e_x^2 + e_y^2 + e_z^2}, \quad \text{donde:}$$

$$e_x = \sqrt{\frac{\sum (x_d - x_i)^2}{n}}, \quad e_y = \sqrt{\frac{\sum (y_d - y_i)^2}{n}}, \quad e_z = \sqrt{\frac{\sum (z_d - z_i)^2}{n}}$$

- Cada destino elegido presenta una precisión diferente => repetir el proceso para un número de destinos representativo
- La precisión estática del robot podrá ser el valor medio (o el mayor)

Repetibilidad: una métrica

- Desde diferentes configuraciones láncese el robot a destino (x_d, y_d, z_d)
- Posiciones alcanzadas: (x_i, y_i, z_i)
- Calcúlese la varianza en x, y, z
- Intégrense las varianzas como suma euclídea

$$REP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}, \quad \text{donde:}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_m)^2}{n}}, \quad \sigma_z = \sqrt{\frac{\sum (z_i - z_m)^2}{n}}$$

$$x_m = \frac{\sum x_i}{n}, \quad y_m = \frac{\sum y_i}{n}, \quad z_m = \frac{\sum z_i}{n}$$

- Cada destino elegido presenta una repetibilidad diferente => repetir el proceso para un número de destinos representativo

Precisión dinámica: una métrica

- *Para trayectoria deseada “tipo” $(x_d(t), y_d(t), z_d(t))$*
- *Trayectoria obtenida: $(x(t), y(t), z(t))$*
- *Duración T*

$$PE = \sqrt{e_x^2 + e_y^2 + e_z^2}, \quad \text{donde:}$$

$$e_x = \frac{1}{T} \int_T (x_d(t) - x(t))^2 \partial t, \quad e_y = \frac{1}{T} \int_T (y_d(t) - y(t))^2 \partial t, \quad e_z = \frac{1}{T} \int_T (z_d(t) - z(t))^2 \partial t$$

Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - ***Estructuras mecánicas***
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

Estructuras mecánicas: criterios para su comparación

- Se establece la comparación únicamente para el brazo (3 primeros eslabones)
- Sólidos de longitud equiparable (L)
- Rango articular de 360° para articulaciones rotacionales
- Rango articular de valor L para articulaciones traslacionales

Estructuras mecánicas: Cartesiana

- 2 tipos: pórtico y rectilíneo
- Volumen de trabajo teórico L^3
- Capacidad de carga independiente de la configuración
- Precisión y resolución constantes en el volumen de trabajo
- Aplicaciones: paletizado y alimentación de máquinas
- Geometría sencilla para el sistema de control





Estructuras mecánicas: Cartesiana

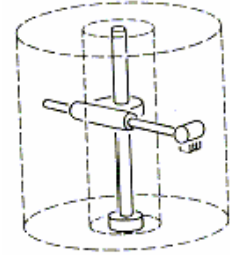
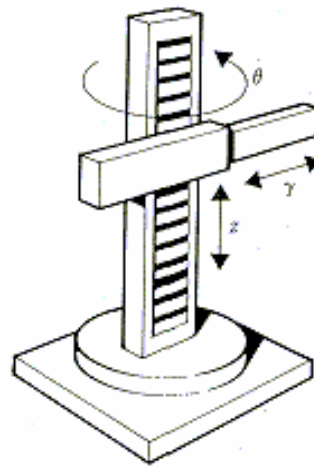


Estructuras mecánicas: Cartesiana



Estructuras mecánicas: Cilíndrica

- 2 tipos: θ -z-p y z- θ -p
- Volumen de trabajo teórico $9L^3$
- Capacidad de carga independiente de la configuración
- Precisión y resolución variables en el volumen de trabajo
- Aplicaciones: Carga y descarga, alimentación de máquinas
- Geometría + compleja para el sistema de control

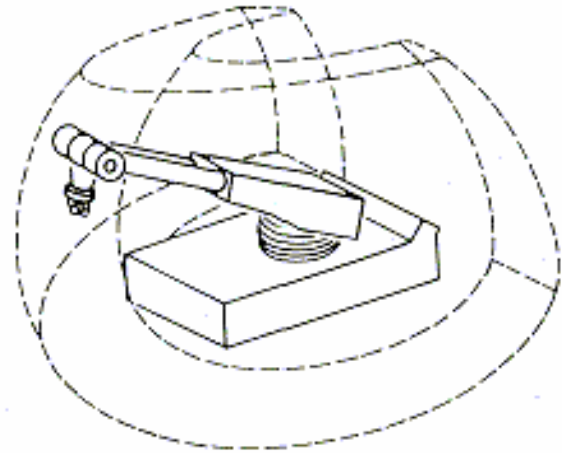


Estructuras mecánicas: Cilíndrica



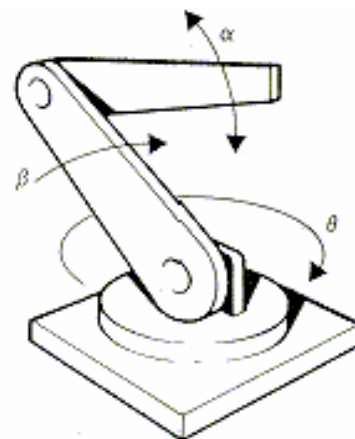
Estructuras mecánicas: Esférica o polar

- Volumen de trabajo teórico $29L^3$
- Capacidad de carga dependiente de la configuración
- Precisión y resolución variables en el volumen de trabajo
- Aplicaciones: Carga y descarga, alimentación de máquinas, soldadura, montaje....
- Geometría compleja para el sistema de control



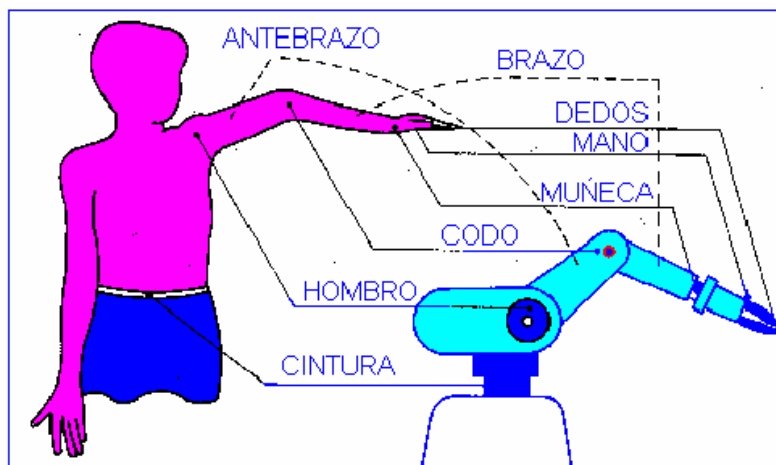
Estructuras mecánicas: angular o antropomórfica

- Volumen de trabajo teórico $33L^3$
- Capacidad de carga dependiente de la configuración
- Precisión y resolución variables en el volumen de trabajo
- Aplicaciones: todas
- Geometría compleja para el sistema de control
- Mejor accesibilidad que estructuras anteriores





Estructuras mecánicas: angular o antropomórfica



KUKA



Payload: 30 kg
Max. reach: 2041 mm
Repeatability: $< \pm 0.15$ mm
Weight: 867 kg

KUKA



Payload: 150 kg
Max. reach: 2041 mm
Repeatability: $< \pm 0.2$ mm
Weight: 1140 kg

ABB



Payload: 200 kg
Max. reach: 2999 mm
Repeatability: $< \pm 0.15$ mm
Weight: 2060-2390 kg

ABB



Payload: 60 kg
Max. reach: 1955 mm
Repeatability: $\leq \pm 0.07$ mm
Weight: 980-1200 kg

ABB



Payload: 500 kg
Max. reach: 2300 mm
Repeatability: ????
Weight: 2500 kg



FANUC



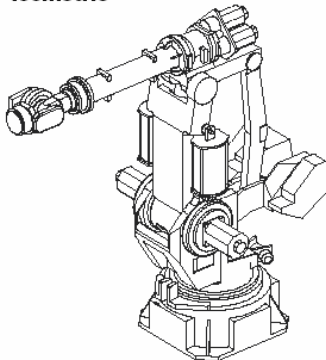
Payload: 400 kg
Max. reach: 2488 mm
Repeatability: ± 0.5
Weight: 2045 kg



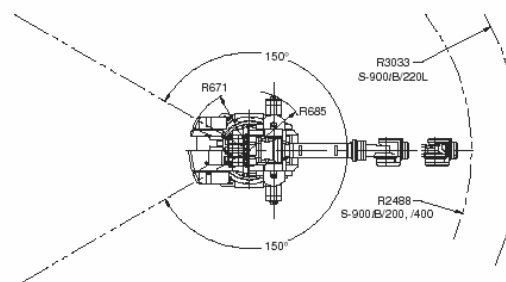
FANUC

S-900iB Dimensions

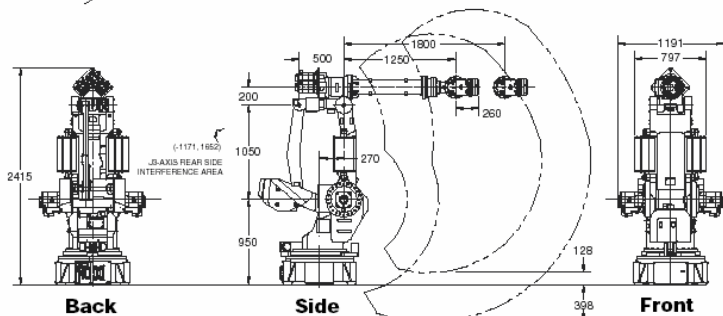
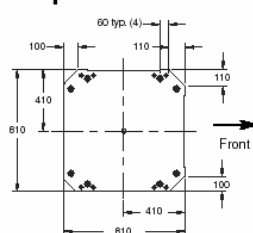
Isometric



Top



Footprint





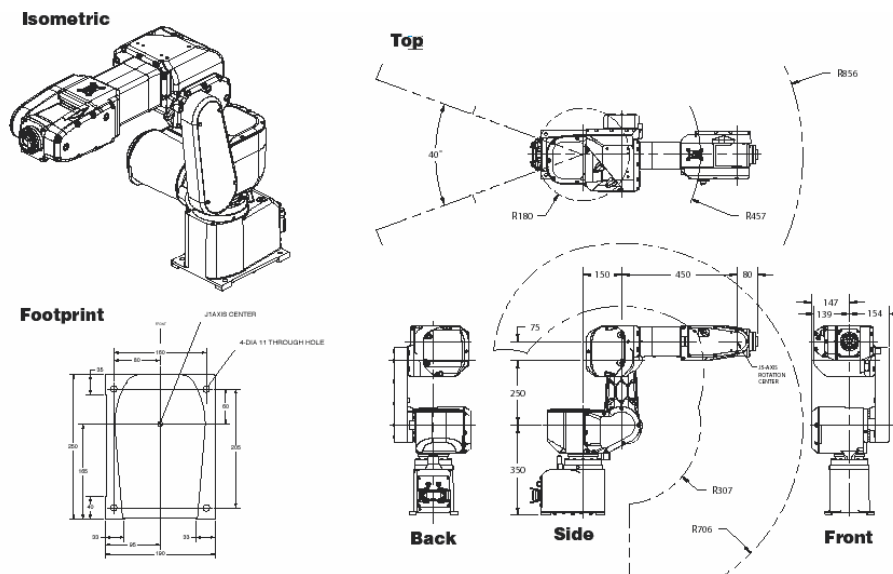
FANUC



Payload: 50 kg
Max. reach: 1855 mm
Repeatability: ± 0.5
Weight: 520 kg

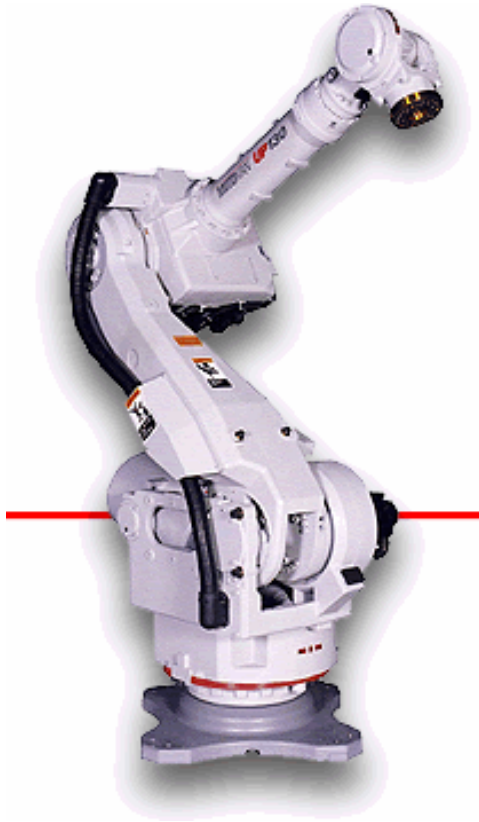


FANUC

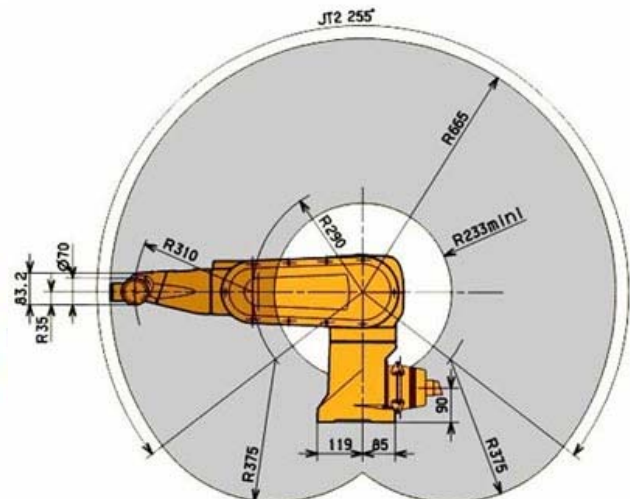


Payload: 3 kg
Max. reach: 856 mm
Repeatability: ± 0.04
Weight: 43 kg

MOTOMAN



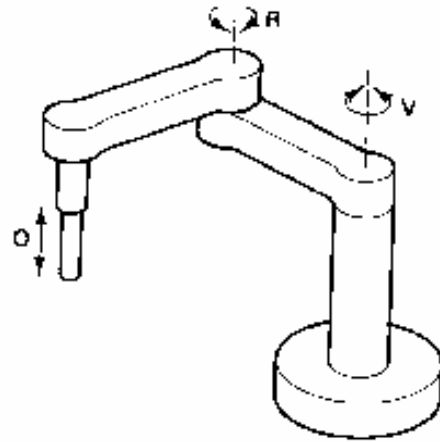
STÄUBLI



Payload: 12 kg
Repeatability: ± 0.03

Estructuras mecánicas: SCARA

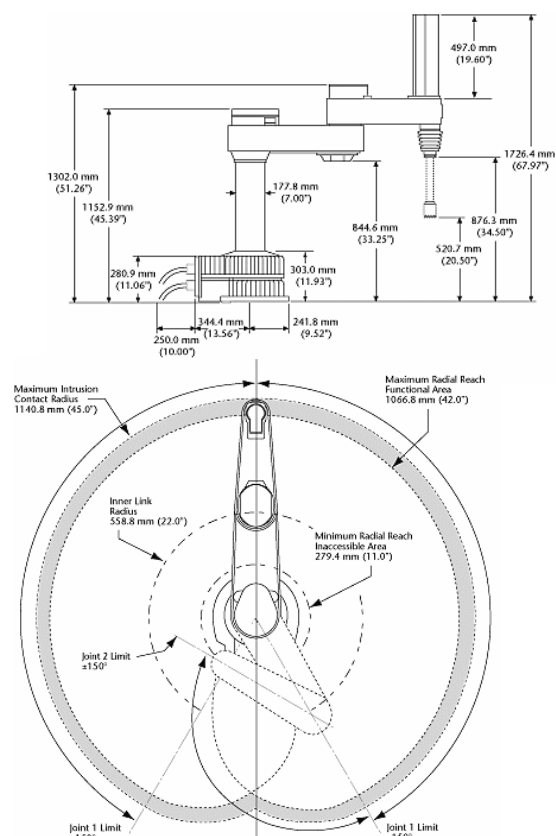
- Volumen de trabajo teórico $12.5L^3$
- Capacidad de carga independiente de la configuración
- Precisión y resolución variables en el volumen de trabajo
- Aplicaciones: montaje de precisión
- Geometría compleja para el sistema de control



ADEPT



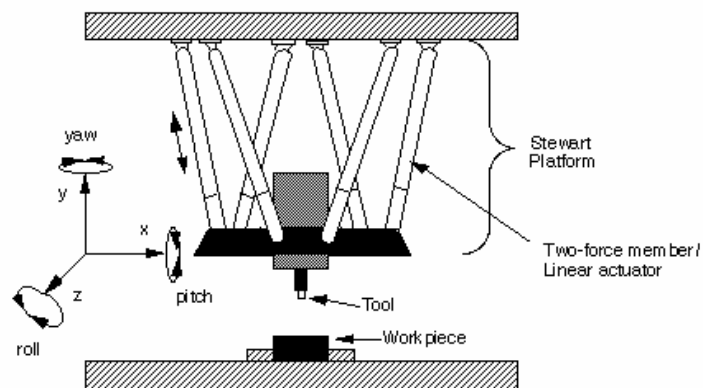
Payload: 25 kg
 Max. reach: 1140 mm
 Repeatability x-y: ± 0.025
 Repeatability z: ± 0.038
 Weight: 266 kg



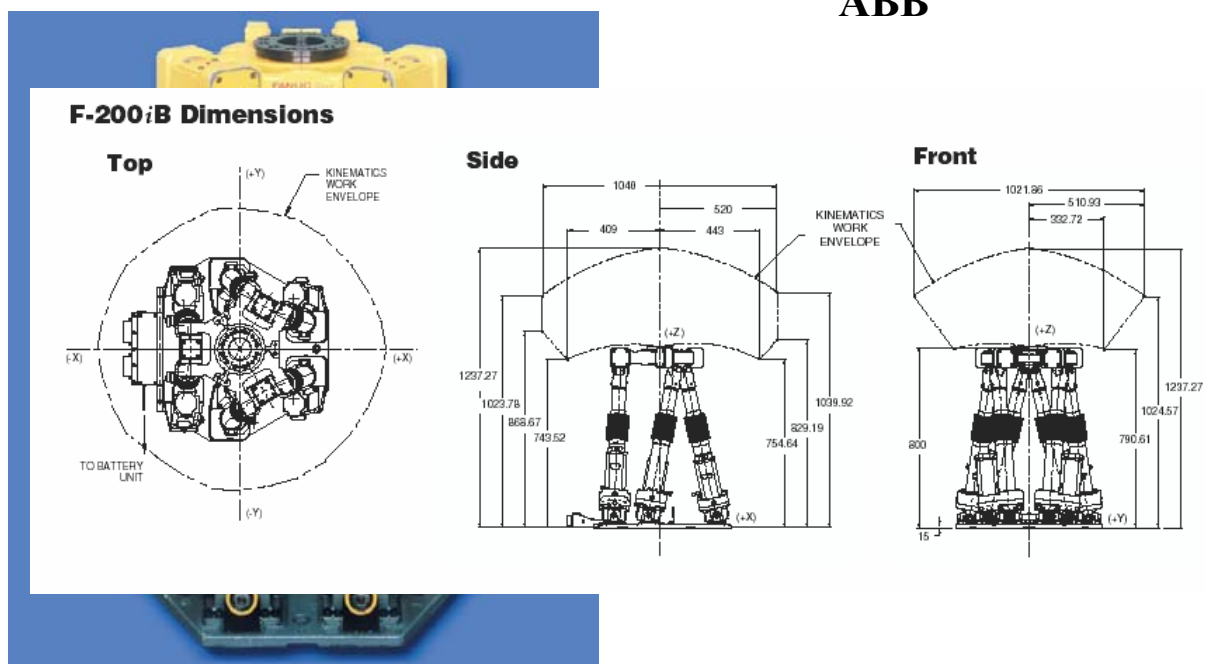
Estructuras mecánicas: Robot paralelo

- 6 enlaces rotulianos (2 gdl)
- 6 enlaces esféricos (3 gdl)
- 6 enlaces prismáticos (o rotacionales)
- Volumen de trabajo de tipo casquete esférico
- Gran rigidez, robustez y compacidad
- Grandes aceleraciones
- Geometría compleja para el sistema de control

Schematic Of A Hexapod Six-Axis Machining Center



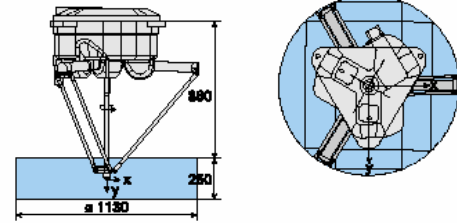
ABB



Payload: 100 kg
Repeatability: ± 0.1
Weight: 190 kg



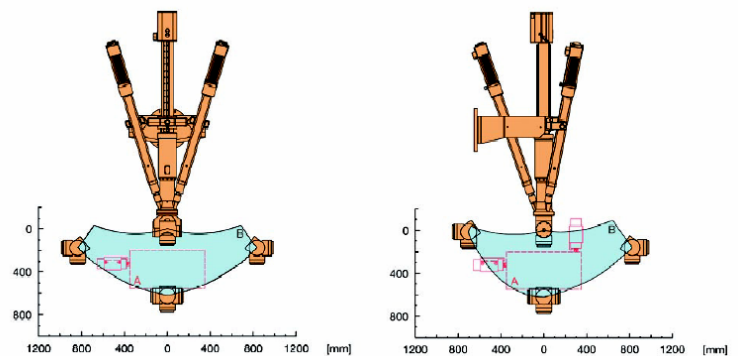
ABB



Payload: 2 kg
Repeatability: ± 0.1
Weight: 140 kg



ABB

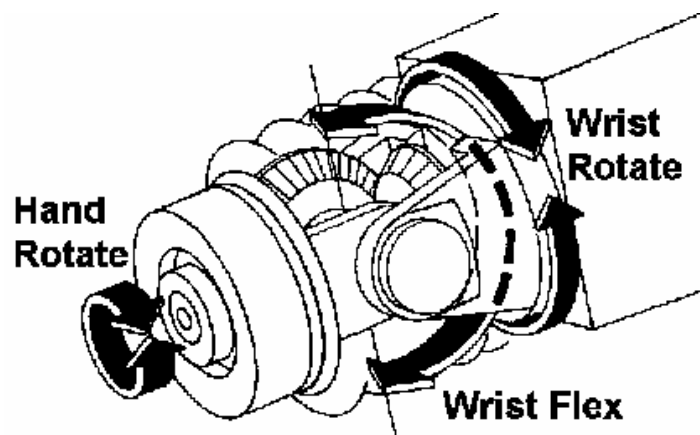


Payload: 1300 kg
Repeatability: ± 0.02
Max accel: 1g
Weight: 580 kg

Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - ***La orientación del órgano terminal: la muñeca***
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

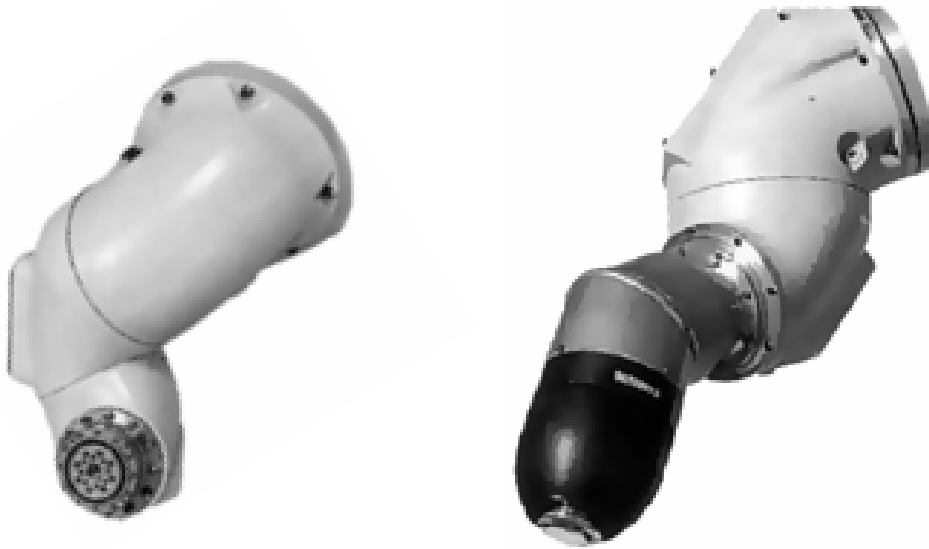
Orientación definitiva del órgano terminal por medio de las 3 últimas articulaciones de tipo rotacional



Habitualmente: Roll - Pitch – Roll:

- Dos de sus ejes son perpendiculares a un tercero
- La secuencia de giro corresponde con los ángulos de Euler
- Son más sencillas de construir y las más extendidas actualmente.

Muñecas especiales



Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - ***Elementos de transmisión del movimiento***
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

Elementos de transmisión de movimiento 2 políticas:

Motricidad distribuida

Gran incremento de:

- *La inercia*
- *La carga gravitatoria*
- *Los pares de acoplo inercial*
- *Las fuerzas centrífugas*

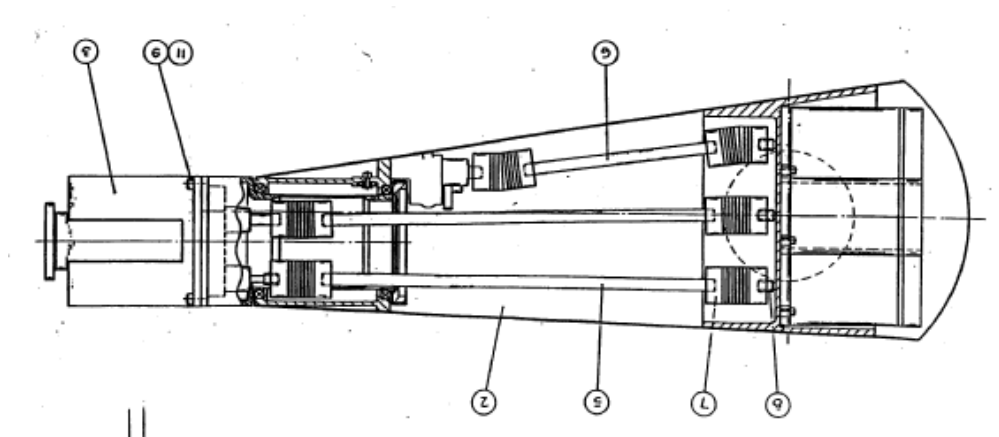
Motricidad centralizada

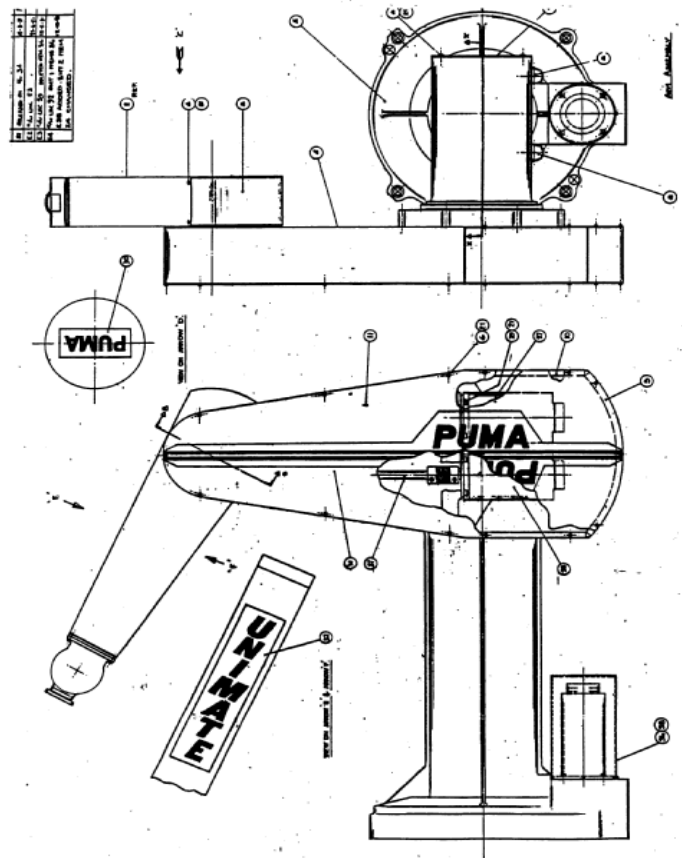
Incremento de:

- *La flexibilidad estructural*
- *Holguras*
- *Fricciones*

Gran influencia en prestaciones y características estructurales. Solución mixta

Ejemplo de solución mixta: PUMA





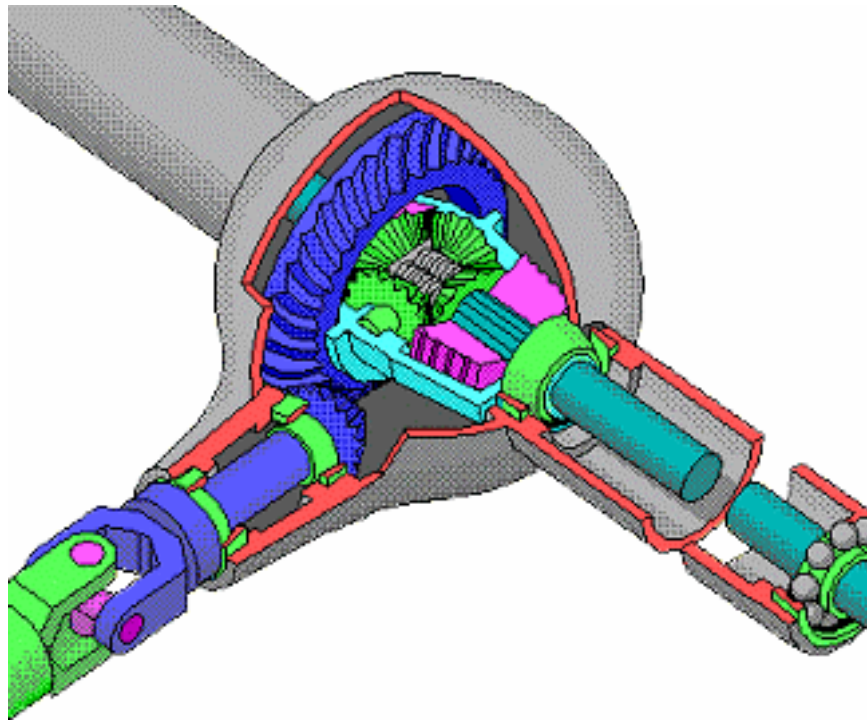
Elementos de transmisión de movimiento

3 tipos: ***R-R R-T T-R***

De rotación a rotación:

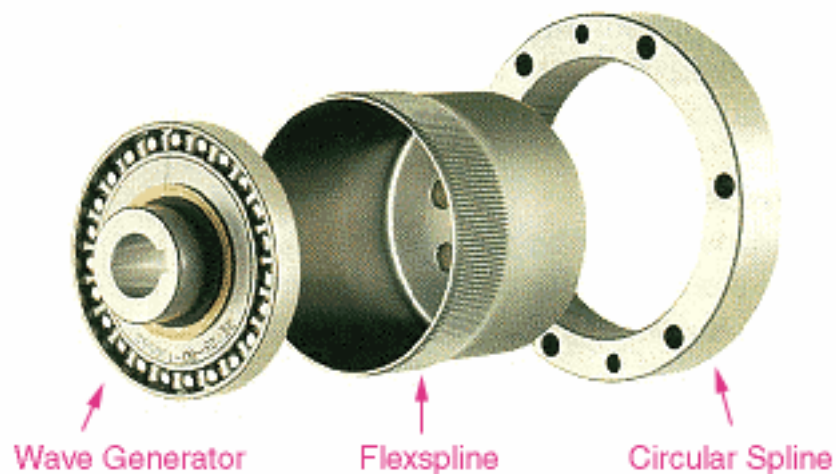
- Engranajes (ejes paralelos, perpendiculares y que se cruzan)
- Trenes epicicloidales
- Reductores armónicos
- Cadenas y correas dentadas

Trenes epicycloidales: el diferencial



Reductores armónicos

- Generador de onda elíptico (entrada)
- Flexpline de acero dentado (salida)
- Corona circular dentada

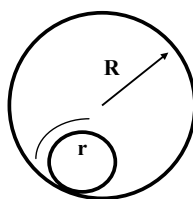


Reductores armónicos

- Gran relación de reducción / transferencia de par (1:320).
- Alineamiento ejes entrada / salida
- Ligero, pequeño y diseño simple.
- Gran precisión y repetibilidad
- Baja fricción
- Holguras pequeñas



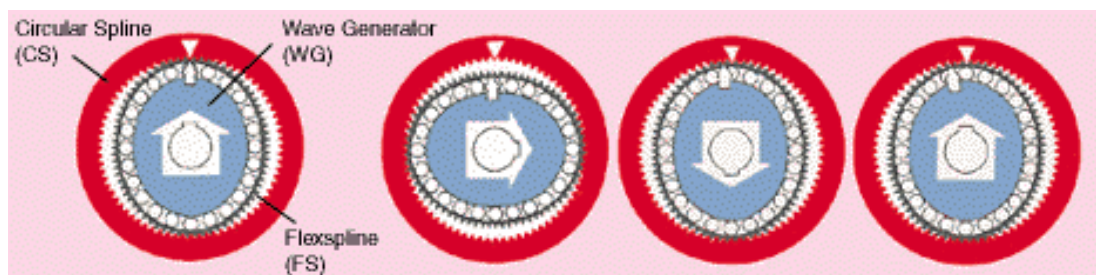
Reductores armónicos



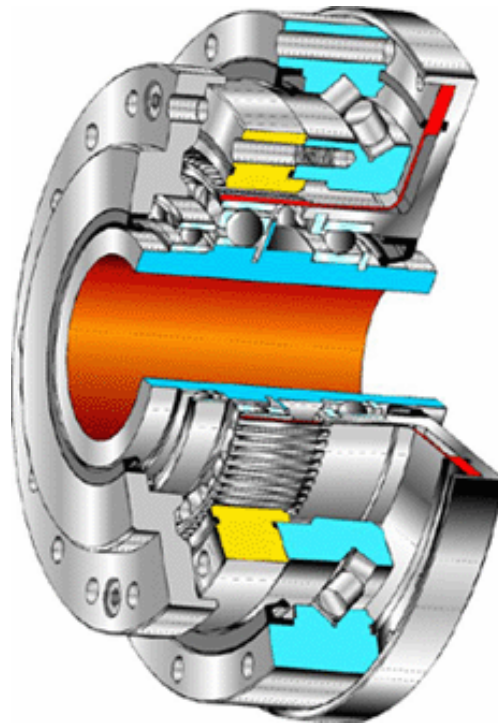
Angulo girado: $2\pi R/r$
En círculo: $2\pi(R/r-1)$

$2\pi R$

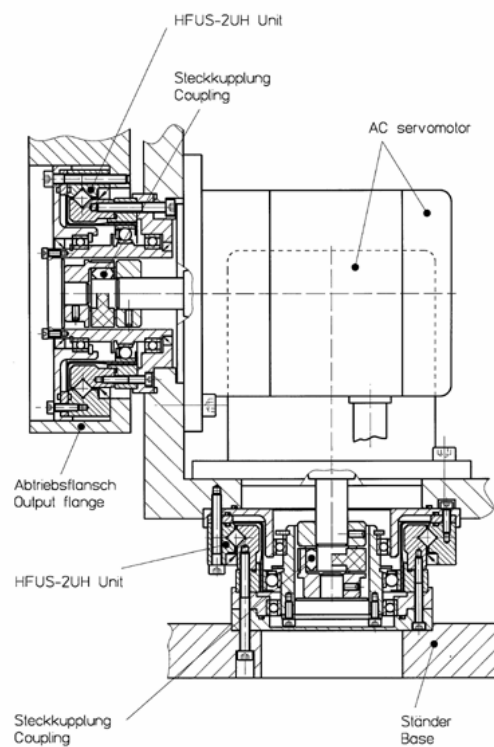
- Si R es similar a r , r_i puede ser enorme
- ¡El centro describiría una circunferencia!. Solución: *flexpline* con un elemento que le “obligue” a engarzar



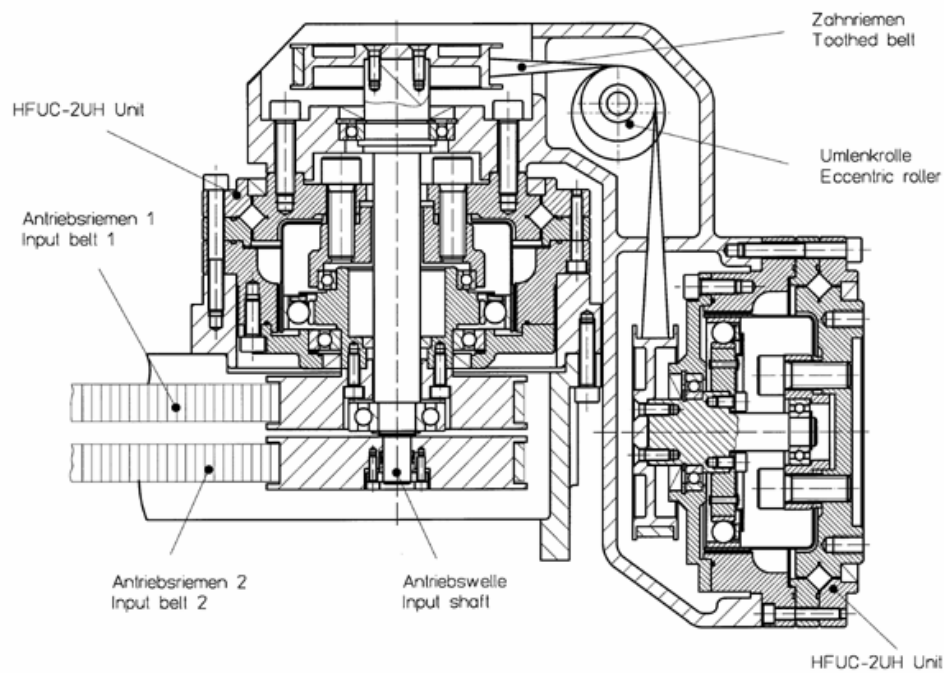
Reductores armónicos



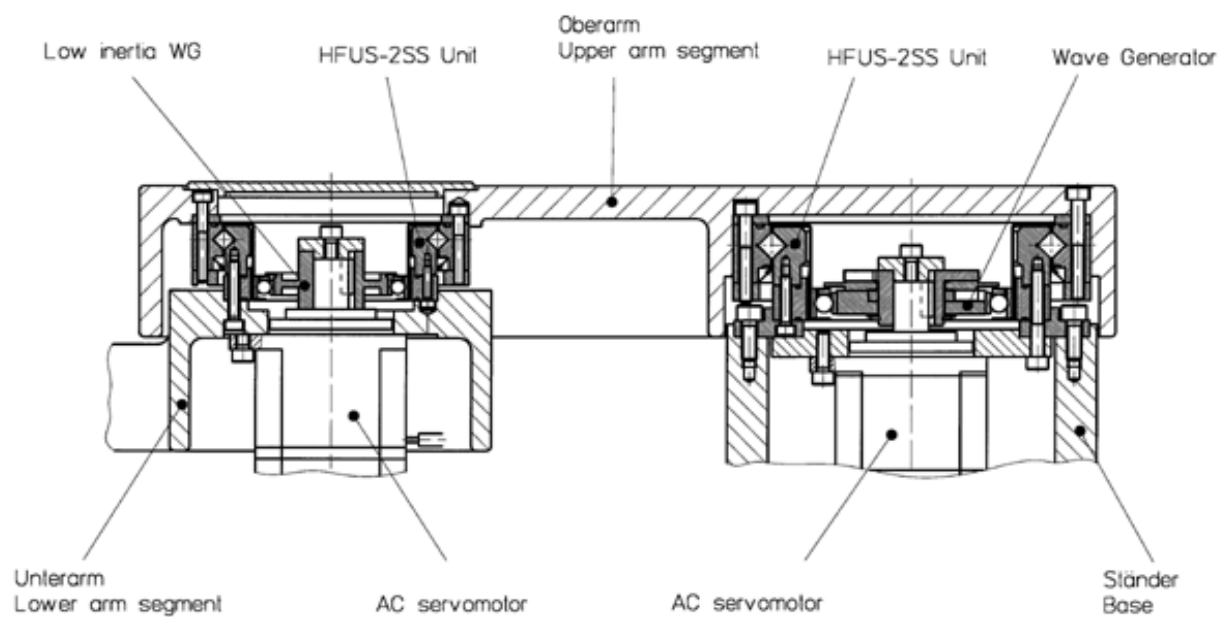
Reductores armónicos. Ejemplo



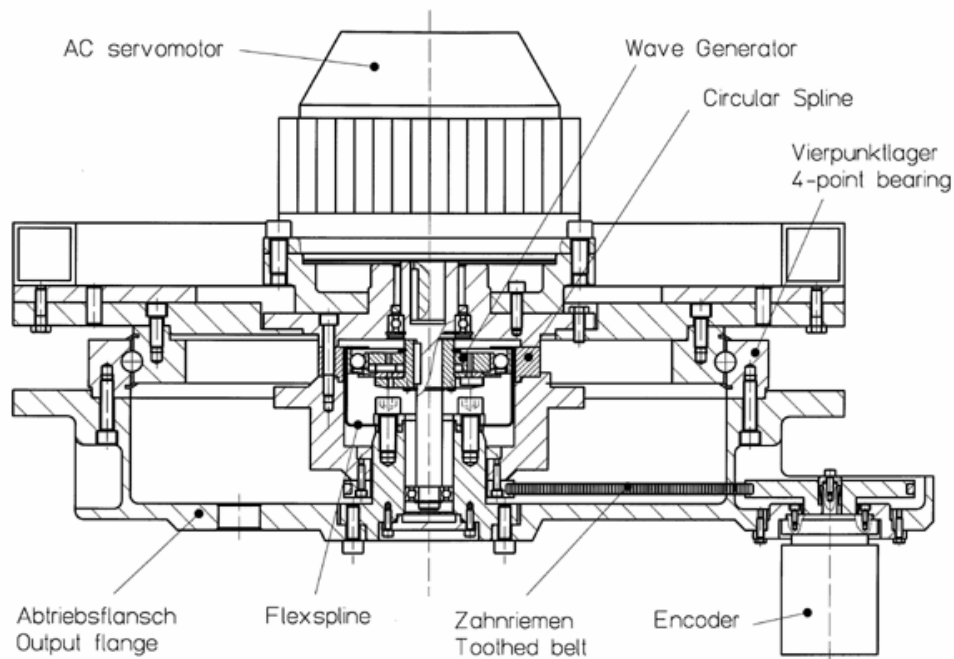
Reductores armónicos. Ejemplo



Reductores armónicos. Ejemplo



Reductores armónicos. Ejemplo



Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - ***Compensación fuerzas de gravedad***
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*

Compensación fuerzas de gravedad

A considerar....

- *Mayor potencia de accionamientos*
- *Asimetrías en movimiento*
- *Inmovilización del manipulador en caso de corte de energía*

Soluciones:

- *Mecanismos irreversibles (tornillo – tuerca)*
- *Frenos*
- *Contrapesos (>Inercia)*
- *Resortes*

Uso de contrapesos





Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - *Órganos terminales*
- - *Algunos criterios en la selección de robots*



Criterios de selección

La tarea a realizar puede imponer restricciones:

- *Volumen de trabajo (estructura, dimensiones y rango articular)*
- *Accesibilidad (nº articulaciones y estructura)*
- *Precisión (nº articulaciones y estructura)*
- *Capacidad de carga*



Estadísticas

2005 World Robot Market

- *Caída de instalaciones en 2001 y 2002*
- *Recuperación en 2003 y crecimiento en 2004 (29% en Asia)*
- *Despegue mundial en 2005 (30%)*
- *España en el grupo de los 7 grandes desde 2001*



Estadísticas

Table 1

Installations and operational stock of multipurpose industrial robots in 2004 and 2005 and forecasts for 2006-2009.
Number of units

Country	Yearly installations				Operational stock at year-end			
	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009
America	15,400	21,555	17,200	20,100	126,961	143,203	153,500	182,500
Brazil	208	320			2,352	2,672		
North America (Canada, Mexico, USA)	15,170	21,136	16,500	19,100	123,663	139,553	149,400	176,000
Other America a/	22	99			946	978		
Asia/Australia	52,311	76,047	65,000	76,000	443,193	481,664	502,000	583,000
China	3,493	4,461			7,096	11,557		
India	369	450			619	1,069		
Indonesia	74	193			121	314		
Japan (see note below)	37,086	50,501	40,000	46,000	356,483	373,481	372,000	388,500
Malaysia	250	243			1,452	1,695		
Philippines	65	80			93	173		
Republic of Korea (all types of industries)	5,457	13,005			51,302	61,576		
Singapore a/	244	424			5,443	5,463		
Taiwan, Province of China a/	3,680	4,096			11,881	15,464		
Thailand	757	1,458			1,014	2,472		
Vietnam	14	99			14	113		
Other Asia a/	170	124			3,505	3,349		
Australia/New Zealand a/	652	913			4,170	4,938		



Estadísticas

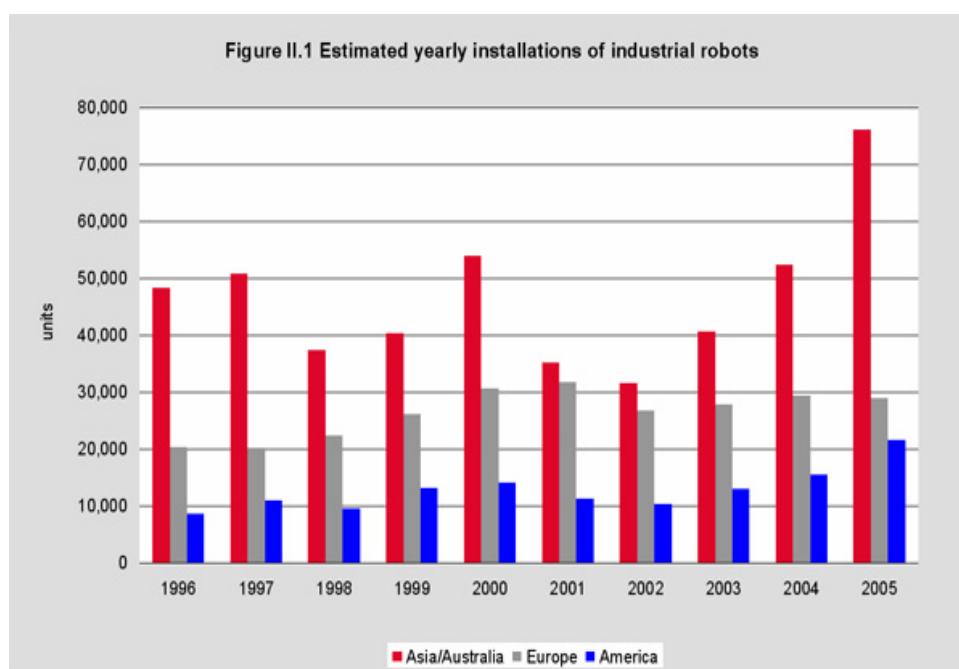
Europe	29,409	28,863	28,200	33,800	279,019	297,374	307,700	345,400
Austria a/	545	485			3,907	4,148		
Benelux a/	536	1,097			8,749	9,362		
Denmark	296	354			2,342	2,661		
Finland	401	556			3,712	4,159		
France	3,009	3,275	3,000	3,700	28,133	30,434	32,200	37,900
Germany	13,401	10,506	10,700	13,000	120,544	126,725	132,300	142,700
Italy	5,679	5,425	5,100	6,200	53,244	56,198	58,900	66,400
Norway	61	115			724	811		
Portugal	211	144			1,488	1,542		
Spain	2,826	2,649			21,893	24,081		
Sweden	833	939			7,341	8,028		
Switzerland a/	310	442			3,539	3,732		
Turkey	24	207			196	403		
United Kingdom	785	1,363	800	1,200	14,176	14,948	14,700	14,300
Central/Eastern European countries a/	419	1,149			8,372	9,337		
other Europe a/	73	157			659	805		
Africa	87	204	220	250	430	634	900	1,600
Total	97,207	126,669	110,620	130,150	849,603	922,875	964,100	1,112,500

Sources: IFR, national robot associations and UNECE (up to 2004).

a/ Estimated by UNECE and IFR for some or for all the years.

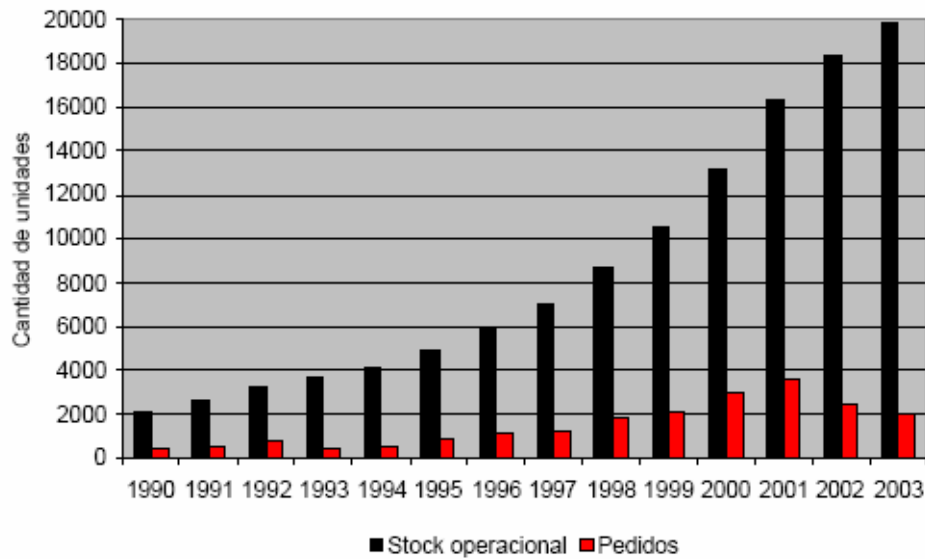


Estadísticas



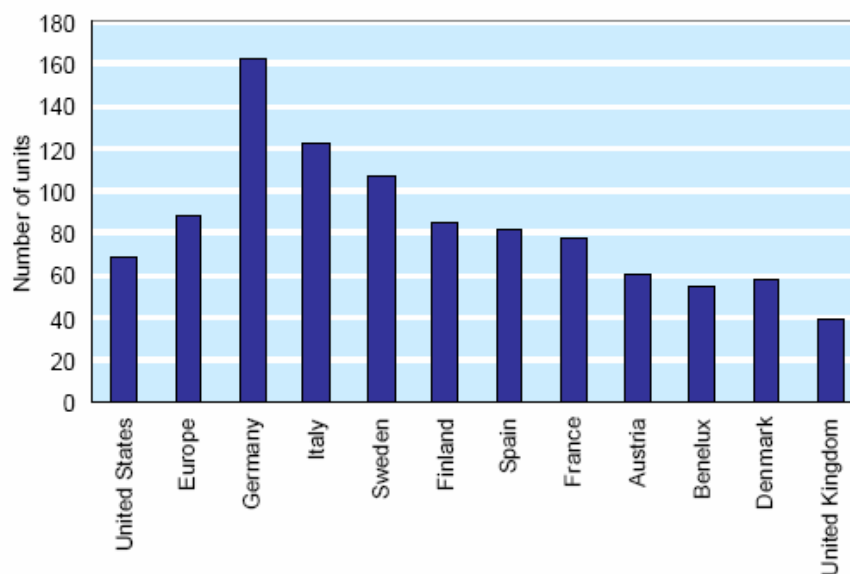


Estadísticas



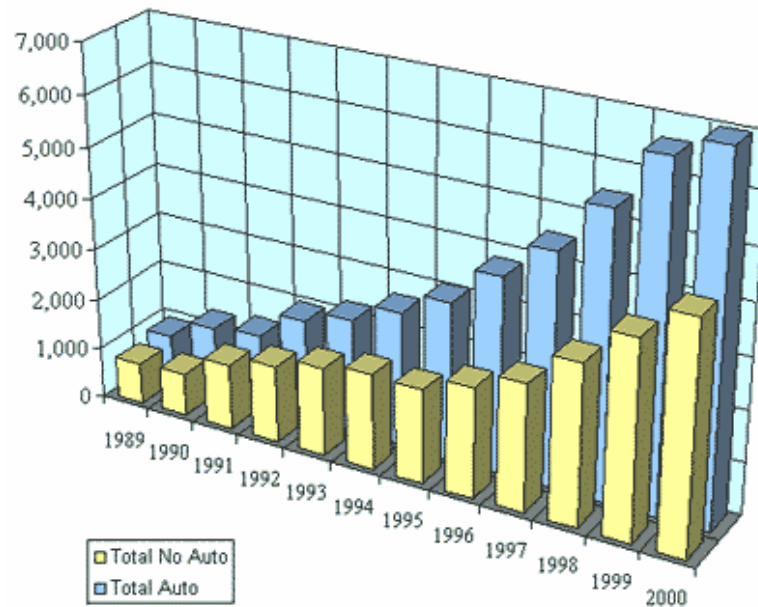
Estadísticas

Figure 4 Number of robots per 10,000 persons employed in the manufacturing industry in 2004

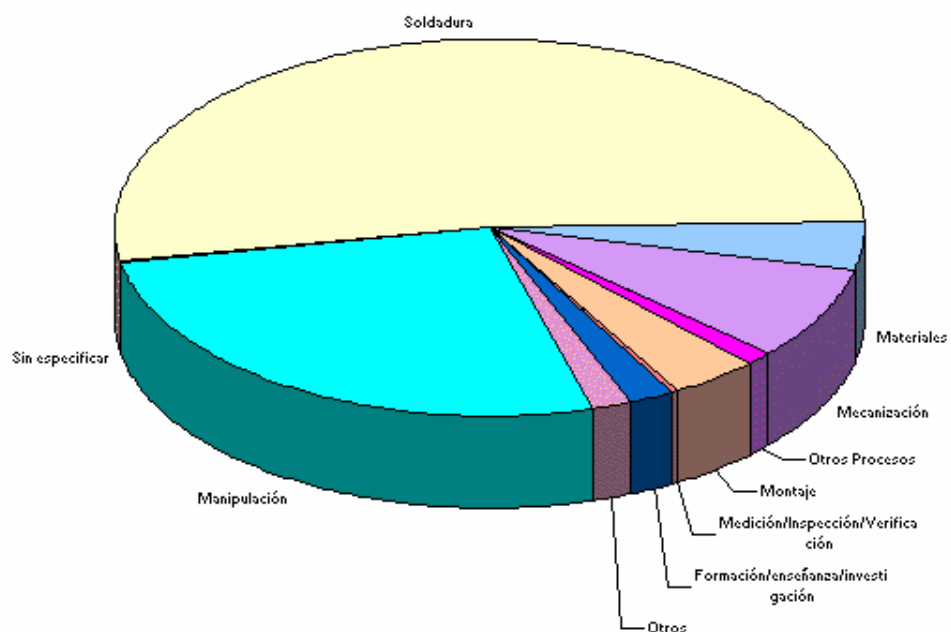




Estadísticas



Estadísticas





Morfología de los robots industriales

- - *Introducción*
- - *Características estructurales y prestaciones*
- - *Estructuras mecánicas*
- - *La orientación del órgano terminal: la muñeca*
- - *Elementos de transmisión del movimiento*
- - *Compensación fuerzas de gravedad*
- - **Órganos terminales**
- - *Algunos criterios en la selección de robots*



Órganos terminales

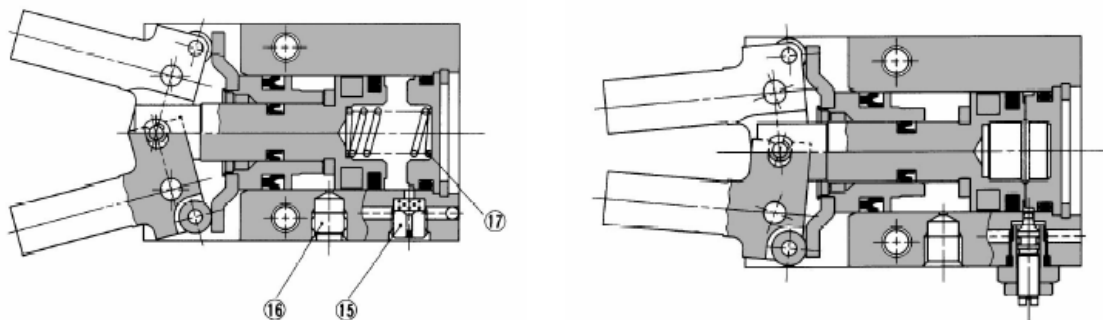
- Fuerte especificidad
- Herramientas directamente acopladas a muñeca
- A mayor nº de g.d.l., mayor complejidad mecánica y de control
- En ocasiones combinado con sensores (proximetría, tacto, esfuerzos...)
- Aplicaciones:
 - Manipulación
 - Ensamblado
 - Procesado
 - Medida e inspección

Órganos terminales: manipulación

- Agarre y sustentación
- Simplicidad: nº de g.d.l. reducido (complejidad mecánica y de control)
- Factores de influencia:
 - Tamaño
 - Forma
 - Fragilidad

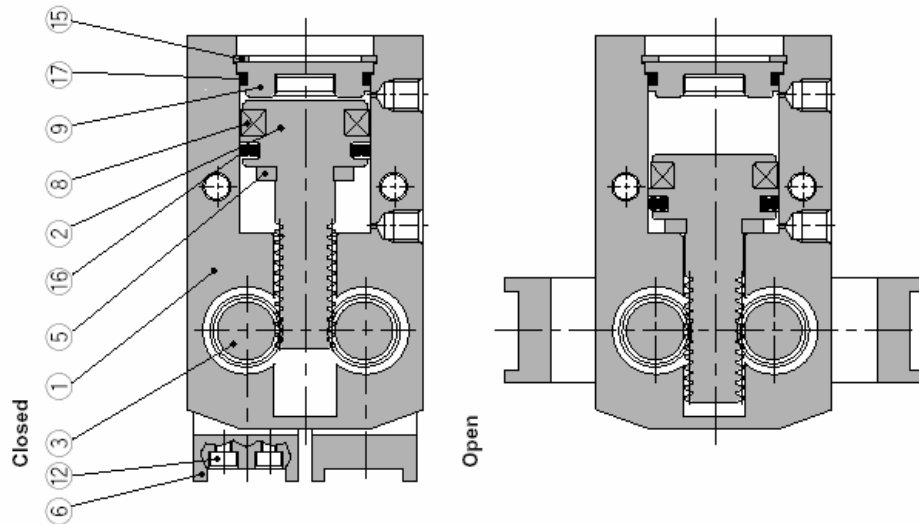
Órganos terminales

Garras con movimiento no paralelo de dedos y mecanismo corredera-manivela (SMC)



Órganos terminales

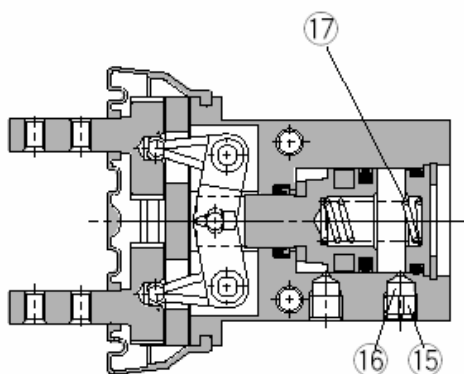
Garras con movimiento no paralelo de dedos y mecanismo cremallera-husillo (SMC)



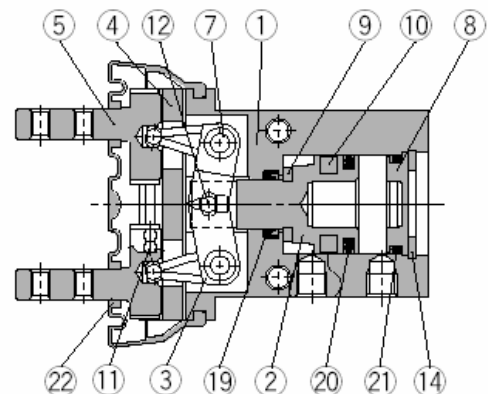
Órganos terminales

Garras con movimiento paralelo de dedos y mecanismo corredera-manivela-corredera (SMC)

Single acting/normally open

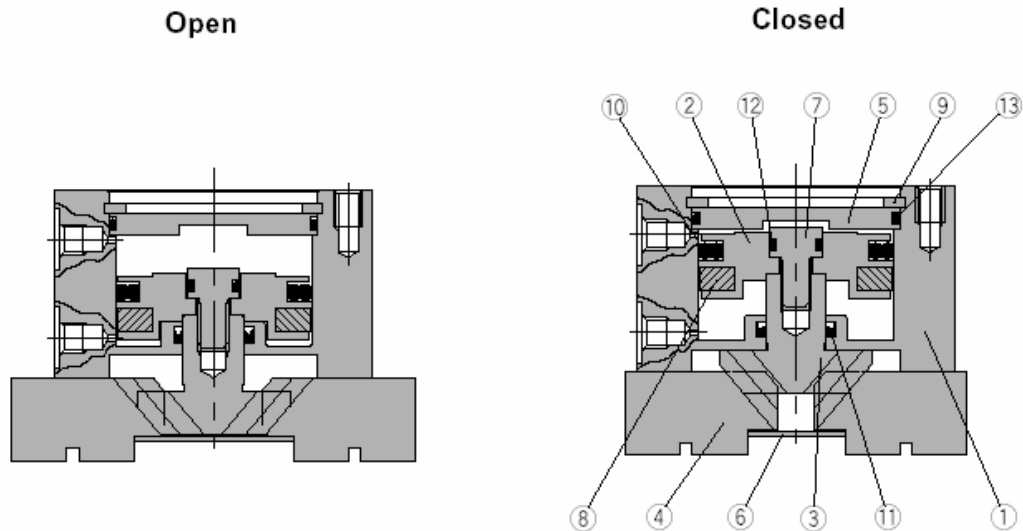


Double acting/with fingers open



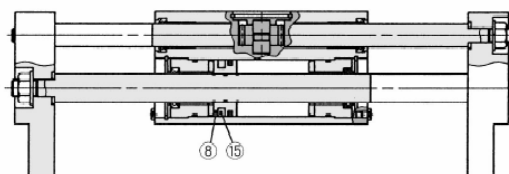
Órganos terminales

Garras con movimiento paralelo de dedos y mecanismo de leva plana (SMC)



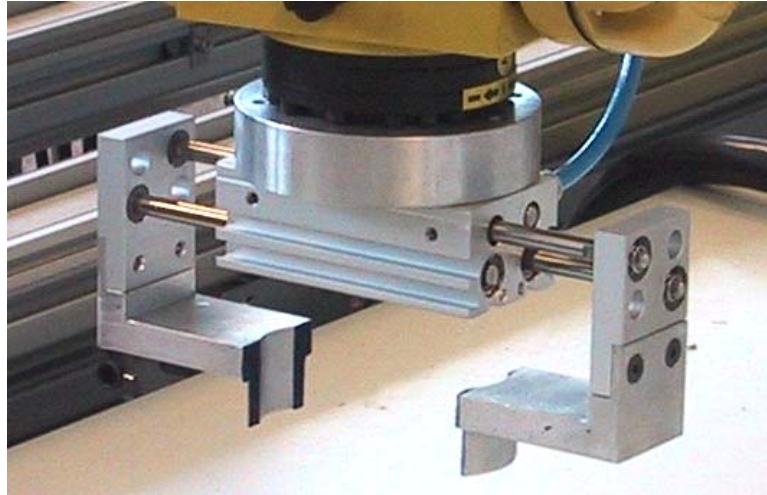
Órganos terminales

*Garras con movimiento paralelo de dedos y doble pistón.
Sincronización mediante piñones*



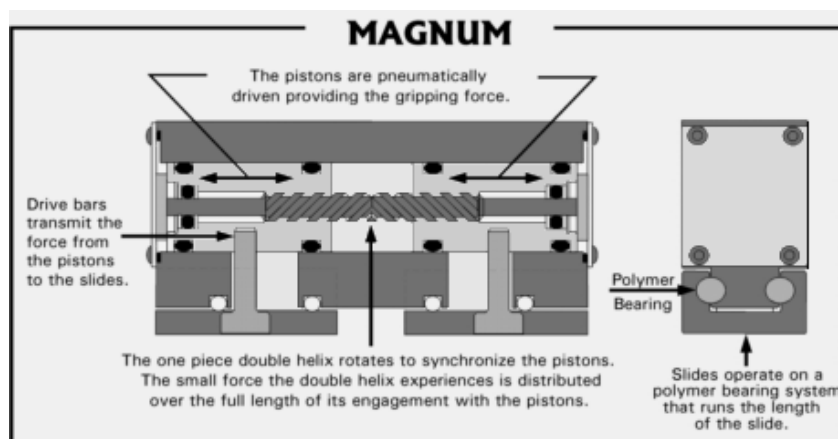
Órganos terminales

*Garras con movimiento paralelo de dedos y doble pistón.
Sincronización mediante piñones*



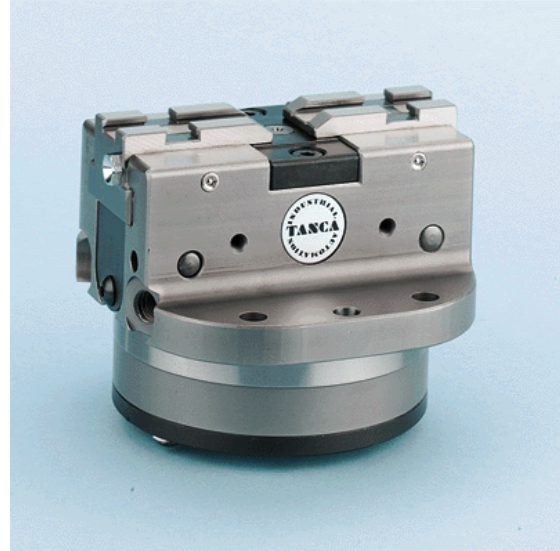
Órganos terminales

*Garras con movimiento paralelo de dedos y doble pistón.
Sincronización mediante tornillo doble*



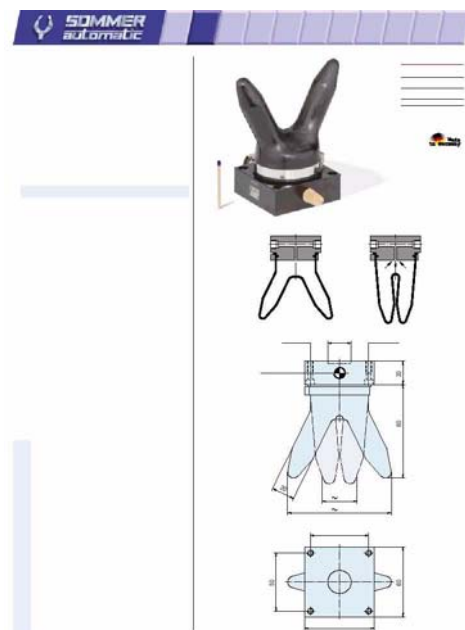
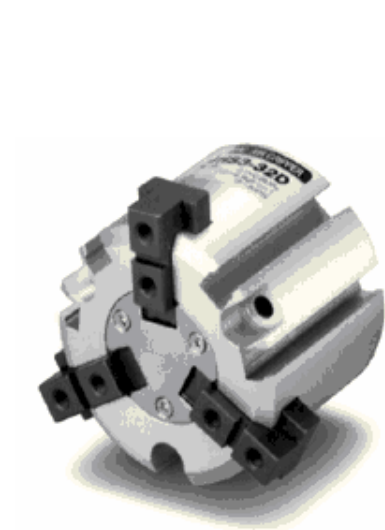
Órganos terminales

Garras con movimiento paralelo de dedos y doble pistón.



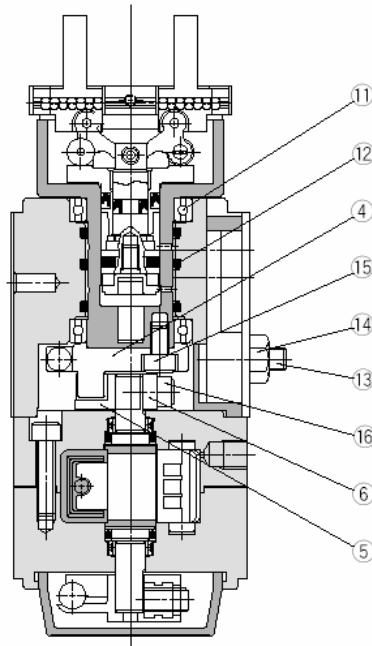
Órganos terminales

Garras especiales



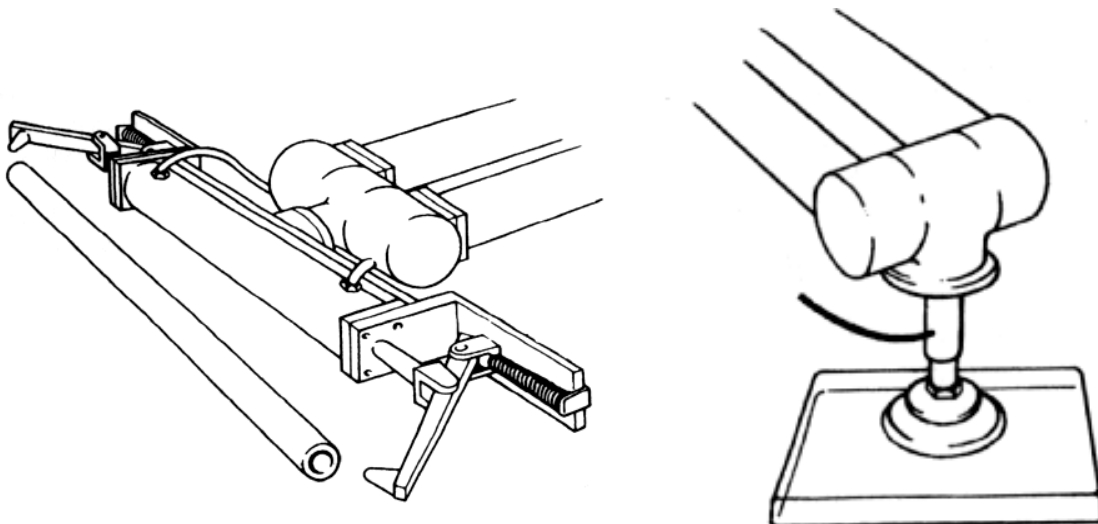
Órganos terminales

Garras especiales: con movimiento rotativo adicional



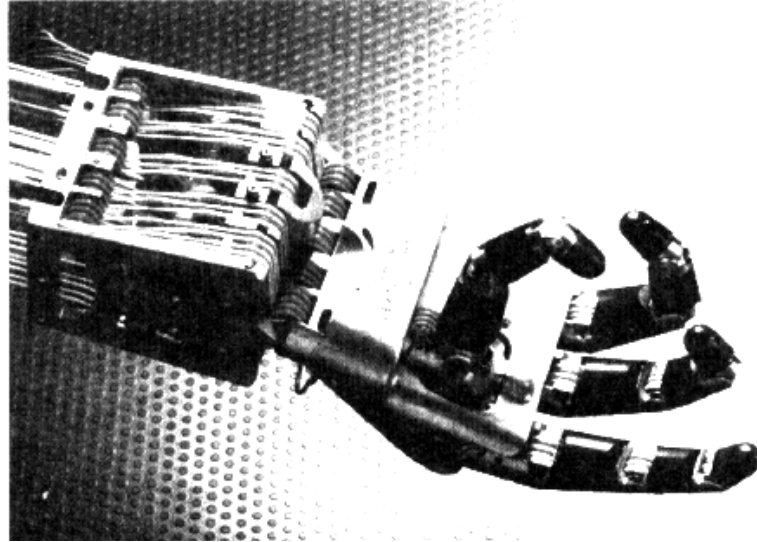
Órganos terminales

Garras especiales: para tubos, de ventosa....



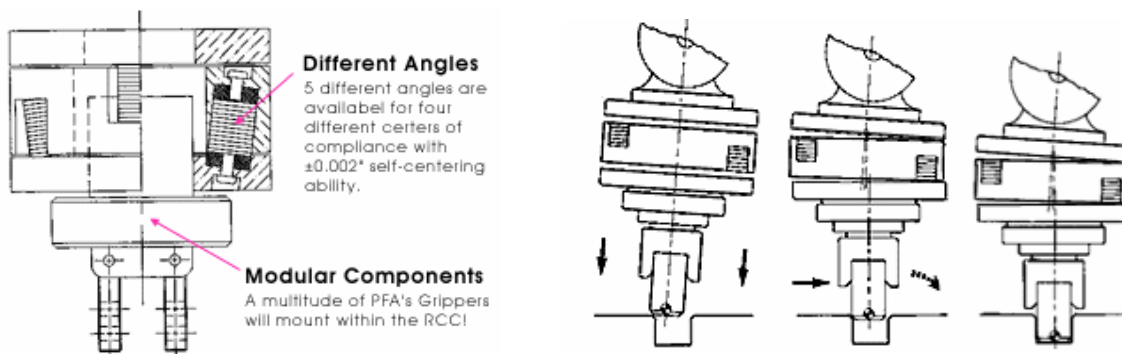
Organos terminales

Garras especiales: antropomorfas



Órganos terminales: ensamblado

Accesorios: dispositivos de acomodación pasiva (RCC)





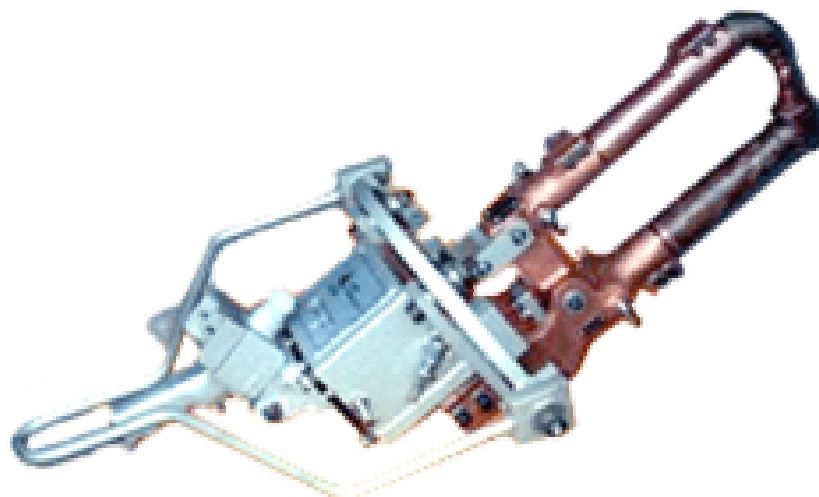
Órganos terminales

Soldadura por arco



Órganos terminales

Soldadura por puntos



Órganos terminales

Soldadura por puntos

