

Els robots industrials II. Aplicacions

Carles Riba Romeva

Temes d'Enginyeria Mecànica

Els robots industrials (II)

Aplicacions

Carles Riba i Romeva

**Professor del
Departament d'Enginyeria Mecànica
ETSEIB - UPC**

Desembre de 1992

ÍNDIX

Presentació

4 Els robots a la indústria

- 4.1 Evolució del parc de robots industrials
- 4.2 Els robots segons les aplicacions i les activitats
- 4.3 Organitzacions sobre robòtica industrial

5 Aplicacions i terminals

- 5.1 Tipus d'aplicació
- 5.2 Terminals. Prensors
- 5.3 Manipulació d'objectes
- 5.4 Soldadura per punts
- 5.5 Soldadura per arc
- 5.6 Pintura per projecció
- 5.7 Altres operacions de procés
- 5.8 Muntatge i inspecció

6 Implantació i estudi de casos

- 6.1 Selecció d'aplicacions
- 6.2 Simulació gràfica
- 6.3 Primer cas. Cèl·lula automatitzada de mecanització
- 6.4 Segon cas. Sistema robòtic de pintura

Bibliografia

Presentació

L'obra que teniu a les mans té l'origen en uns apunts destinats a diverses lliçons impartides per l'autor sobre robòtica, que sovint han constituït les primeres sessions de cursos més extensos.

Aquesta activitat docent s'ha emmarcat fonamentalment en els cursos impulsats per l'Asociación Española de Robótica (AER) i en els màsters compartits entre la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i l'Institut Català de Tecnologia (ICT).

De l'experiència, l'autor n'ha extret una doble constatació: 1a) la conveniència d'introduir el concepte de robot industrial, les seves parts i les seves característiques, atesa la diversitat de procedències curriculars de les persones interessades per aquesta matèria; i 2a) l'interès prioritari de moltes d'aquestes persones per temes relacionats amb les aplicacions dels robots industrials.

Els apunts originals, doncs, han estat reforçats, d'una banda, en el sentit d'enllaçar els conceptes bàsics de la ciència robòtica a les característiques i prestacions enunciades pels fabricants i, d'altra banda, en l'aproximació d'aquestes característiques i prestacions a les solucions adoptades pels enginyers en la seva aplicació.

Això ha fet inclinar l'autor vers el contingut actual dels dos volums, *Els robots industrials. Característiques* i *Els robots industrials. Aplicacions*, que formen una mateixa obra, de la qual aquest text és la segona part.

4 Els robots a la indústria

4.1 Evolució del parc de robots industrials

Un dels índexs sobre el grau d'automatització avançada d'un país el constitueix el parc de robots industrials instal·lats i la seva evolució. A continuació es proporcionen dades sobre l'evolució del parc a diferents països industrials.

Aquesta informació ha estat elaborada a partir de les dades recollides anualment per diferents països desenvolupats sota la coordinació de la International Federation of Robotics (IFR). L'últim recull porta la data de juny de 1992 i inclou les dades de finals de l'any 1991.

Els aspectes més rellevants que es resumeixen a les taules que vénen a continuació són:

Parc de robots industrials instal·lats (Taula 1). S'han pres en consideració aquells països que, a finals de 1991, tenien un parc de robots industrials superior a les 1.000 unitats instal·lades.

Increment anual del parc. Aquestes dades es proporcionen tant de l'increment del nombre d'unitats (Taula 2), com del percentatge d'aquest increment sobre el parc de l'any anterior (Taula 3).

Parc de robots industrials, segons els subministradors. Es disposa d'aquestes dades sobre dos països: Austràlia, per a 1990; i Espanya, per a 1991, amb l'increment dels anys 1988-1991 (Taula 4).

Taula 1

1 Parc de robots industrials instal·lats a diferents països								
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Austràlia	530	?	800	930	1.200	1.350	1.490	1.650
Àustria	180	260	370	480	680	880	1.180	1.350
Alemanya, R.F.	6.600	8.800	12.400	14.900	17.700	22.400	28.240	34.140
Bèlgica	780	980	1.040	1.120	1.230	1.400	1.600	?
Espanya	530	690	860	1.150	1.420	1.750	2.220	2.630
Estats Units	13.000	20.000	25.000	29.000	32.600	37.000	41.300	?
França ¹	2.750	4.150	5.270	4.380	5.660	7.860	8.550	9.810
Gran Bretanya	2.620	3.210	3.680	4.300	5.030	5.910	6.420	7.170
Itàlia	2.600	4.000	5.000	6.600	8.300	9.980	12.500	14.540
Holanda	140	310	450	590	720	890	1.070	?
Japó	67.000	97.000	116.000	141.000	176.000	219.000	274.000	325.000
Singapur	120	200	250	530	610	1.390	?	?
Suècia	1.750	2.050	2.390	2.750	3.040	3.460	3.790	4.100
Suïssa	190	290	380	500	780	?	1.520	?
Taiwan	150	230	290	450	680	970	1.290	1.670
Txecoslovàquia ²	?	1.700	2.770	4.050	5.650	6.770	7.160	7.210
Unió Soviètica ²	?	34.070	44.070	53.120	59.220	62.340	64.200	?
Estimació món	?	?	?	?	340.000	405.000	480.000	550.000

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

¹ El 1989 es va procedir a una revisió de l'estadística de robots tenint en compte les noves definicions d'ISO i d'IFR.

² No s'han establert definicions comparables.

Taula 2

2 Increment del parc de robots industrials a diferents països								
	1984	1985	1986	1987	1988	1889	1990	1991
Austràlia	?	?	?	130	270	150	140	160
Àustria	50	80	110	110	200	200	300	170
Alemanya,R.F.	1.800	2.200	3.600	2.500	2.800	4.700	5.840	5.900
Bèlgica	270	200	60	80	110	170	200	?
Espanya	100	160	170	290	270	330	470	410
Estats Units	5.000	7.000	5.000	4.000	3.600	4.400	4.300	?
França ¹	830	1.400	1.120	- 890	1.280	2.200	690	1.260
Gran Bretanya	870	590	470	620	730	880	510	750
Itàlia	1.090	1.400	1.000	1.600	1.700	1.680	2.520	2.040
Holanda	20	170	140	140	130	170	180	?
Japó	20.000	30.000	19.000	25.000	35.000	43.000	55.000	51.000
Singapur	50	80	50	280	80	780	?	?
Suècia	300	300	340	360	290	420	330	310
Suïssa	80	100	90	120	280	?	?	?
Taiwan	70	80	60	160	230	290	320	380
Txecoslovàquia ²	?	?	1.070	1.280	1.600	1.120	390	50
Unió Soviètica ²	?	?	10.000	9.050	6.100	3.120	1.860	?
Estimació món	?	?	?	?	?	65.000	75.000	70.000

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

¹ El 1989 es va procedir a una revisió de l'estadística de robots tenint en compte les noves definicions d'ISO i d'IFR.

² No s'han establert definicions comparables.

Taula 3

3 Increment del parc de robots industrials a diferents països (percentual)								
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Austràlia	?	?	?	16,3	29,0	12,5	10,4	10,7
Àustria	38,5	44,4	42,3	29,7	41,7	29,4	34,1	14,4
Alemanya, R.F.	37,5	33,3	40,9	20,2	18,8	26,6	26,1	20,9
Bèlgica	52,9	25,6	6,1	7,7	9,8	13,8	14,3	?
Espanya	23,3	30,2	24,6	33,7	23,5	23,2	26,9	18,5
Estats Units	62,5	53,8	25,0	16,0	12,4	13,5	11,6	?
França ¹	43,2	50,9	27,0	-16,9	29,2	38,9	8,8	14,7
Gran Bretanya	49,7	22,5	14,6	16,8	17,0	17,5	8,6	11,7
Itàlia	72,2	53,8	25,0	32,0	25,8	20,2	25,3	16,32
Holanda	16,7	121,4	45,2	31,1	22,0	23,6	20,2	?
Japó	42,6	44,8	19,6	21,6	24,8	24,4	25,1	18,6
Singapur	71,4	66,7	25,0	112,0	15,1	127,9	?	?
Suècia	20,7	17,1	16,6	15,1	10,5	13,8	9,5	8,2
Suïssa	72,7	52,6	31,0	31,6	56,0	?	?	?
Taiwan	87,5	53,3	26,1	55,2	51,1	42,6	33,0	29,5
Txecoslovàquia ²	?	?	62,9	46,2	39,5	19,8	5,8	0,7
Unió Soviètica ²	?	?	29,3	20,5	11,5	5,3	3,0	?
Estimació món	?	?	?	?	?	19,1	18,5	14,6

Fons: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

¹ El 1989 es va procedir a una revisió de l'estadística de robots tenint en compte les noves definicions d'ISO i d'IFR.

² No s'han establert definicions comparables.

Taula 4

Parc de robots industrials per marques						
	Parc d'Austràlia maig 1990		Parc d'Espanya desembre 1991		Parc d'Espanya Increment 88-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
ASEA	300	22,2	1.015	38,6	525	44,3
ACMA	-		190	7,2	40	3,4
Daihen / OTC	200	14,8	-	-	-	-
GMFanuc	150	11,1	165	6,3	160	13,3
KUKA	1		60	2,0	30	2,6
Unimation	102	7,6	260	9,9	-	-
Yaskawa	100	7,4	150	6,2	80	6,8
Altres marques	(23) 497	36,7	(57) 665	30,3	(27) 350	29,5
Totals	1.350	100,0	2.630	100,0	1.185	100,0

Fonts: Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica, i elaboració pròpia

Anàlisi de les dades

L'anàlisi de les quatre taules anteriors aporta les observacions següents:

- a) El parc mundial de robots industrial va superar la xifra de mig milió l'any 1991. Els creixements absoluts d'aquest parc estan sobre les 70.000 unitats en els darrers anys i sembla que inicien una inflexió a la baixa a l'any 1991. Els percentatges d'augment, tot i ser elevats, van baixant progressivament quan es comptabilitzen sobre un parc cada cop més gran.
- b) El parc japonès és, amb diferència, el més important del món i representa tot sol prop del 60% dels robots industrials instal·lats del món, amb tendència a créixer. El mateix es pot dir de la indústria japonesa de fabricació de robots industrials, que és exportadora.

- c) La indústria europea de robots industrials es manté, mentre que l'americana tendeix a baixar. Dintre d'Europa, Alemanya és, també amb diferència, el país amb el parc de robots industrials instal·lats més gran, amb quasi la meitat del parc europeu.
- d) Espanya tenia a finals de l'any 1991 un parc de robots industrials d'unes 2.600 unitats, aproximadament un 0,5% del parc mundial, fet que no impedeix que se situï entre els 10 primers llocs en l'àmbit mundial. El creixement percentual és més alt que el de la mitjana del món i s'acosta als del Japó i Alemanya.
- e) Sorpren el gran nombre d'empreses fabricants de robots industrials amb un nombre de vendes molt baix (poques unitats per any). Sembla, però, que el mercat tendeix a una concentració de l'oferta en un nombre reduït d'empreses en l'àmbit mundial. A Espanya, i probablement també en el món, les empreses líders són ABB i Fanuc.
- f) La fabricació més seriada dels robots industrials, amb productes més estàndard, va abaratint de forma relativa els preus; aquest fet, juntament amb la millora de les prestacions (especialment quant a capacitats de programació) i l'augment de la fiabilitat d'aquestes màquines, està facilitant l'arribada a la maduresa de les seves aplicacions industrials.

4.2 Els robots segons les aplicacions i les activitats

Les dades referents a les aplicacions dels robots industrials, i a les activitats de les indústries destinatàries, proporciona un bon índex per avaluar les aplicacions més madures i els sectors líders en la implantació de la robòtica.

Nova classificació de la IFR per a robots industrials

La *International Federation of Robotics*, IFR, ha sentit la necessitat d'establir criteris uniformes per a la recollida de dades sobre el parc de robots industrials implantats en els diferents països, així com la seva classificació en aplicacions i activitats. En aquest sentit, a la reunió de Sidney de l'any 1988 va prendre els acords següents:

a) *Robots industrials segons les aplicacions*

Es va establir la classificació següent:

- 000 Sense especificar
- 110 Operacions de manipulació a la fosa
 - 111 Motlles
 - 119 Altres
- 130 Operacions de manipulació a l'emmotllament de plàstics
- 140 Operacions de manipulació en els tractaments tèrmics
- 150 Operacions de manipulació a l'estampació i la forja
- 160 Soldadura
 - 161 Soldadura per arc
 - 162 Soldadura per punts
 - 163 Soldadura per gas
 - 164 Soldadura per làser
 - 169 Altres
- 170 Aplicacions de materials
 - 171 Pintura
 - 172 Segellament/Adhesius
 - 179 Altres
- 180 Mecanització
 - 181 Càrrega i descàrrega de màquines
 - 182 Tallament mecànic/Rectificació/Desbarbatge/Poliment
 - 189 Altres
- 190 Altres processos
 - 191 Tallament per làser
 - 192 Tallament per raig d'aigua
 - 199 Altres
- 200 Muntatge
 - 201 Muntatge mecànic/Unió
 - 202 Inspecció/Muntatge/Retallada
 - 203 Unió per mitjà d'adhesius
 - 204 Unió per soldadura
 - 205 Manipulació per a operacions de muntatge
 - 209 Altres
- 210 Operacions de manipulació per a paletització/Empaquetatge
- 220 Mesurament/Inspecció/Verificació
- 230 Manipulació de materials
- 240 Formació/Ensenyament/Investigació
- 900 Altres

b) *Robots industrials segons les activitats*

Es va establir a partir dels codis ISIC (International Standard Industrial Classification), segons la segona revisió:

- 0 Sense especificar
- 1 Agricultura/Silvicultura/Pesca
- 2 Minería
- 3 Indústries manufactureres
 - 31 Alimentació i begudes
 - 32 Tèxtil/Confecció/Productes de pell
 - 33 Fusta/Productes de fusta/Mobles
 - 34 Paper/Productes de paper/Impressió i edició
 - 35 Productes químics/Petroli/Carbó/Cautxú/Productes de plàstic
 - 36 Ceràmica/Productes de pedra/Productes minerals no metàl·lics
 - 37 Metalls bàsics
 - 38 Indústria del metall
 - 381 Productes metàl·lics (excepte maquinària)
 - 382 Maquinària (excepte equips i aparells elèctrics)
 - 383 Equips i aparells elèctrics
 - 384 Equips de transport
 - 3843 Vehicles de motor
 - 3845 Aeronaus
 - 385 Instruments de precisió i instruments òptics
 - 39 Altres indústries manufactureres
- 4 Electricitat/Gas/Aigua
- 5 Construcció/Edificació
 - 931 Educació
 - 932 Investigació i desenvolupament

Presentació de taules

A continuació es presenten per a cada un dels països següents, Japó, França, Espanya i Alemanya, les dades referents a:

- 1) *Classificació per funcions* (Taules 5, 7, 9 i 11, respectivament)
- 2) *Classificació per sectors d'activitat* (Taules 6, 8 i 10 respectivament; per a Alemanya no es disposa de dades sobre sectors d'activitat).

Taula 5

JAPÓ						
Classificació per funcions dels robots						
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Càrrega-descàrrega	17.700	6,5	21.800	6,7	4.100	23,2
Emmotllament de plàstics	35.800	13,1	44.400	13,7	8.600	24,0
Manipulació / Paletització	9.300	3,4	10.500	3,2	1.200	12,9
Muntatge	107.400	39,2	129.300	39,8	21.900	20,4
Recobriments / Pintura	4.500	1,6	5.500	1,7	1.000	22,2
Soldadura per arc	37.800	13,8	46.100	14,2	8.300	22,0
Soldadura per punts	21.400	7,8	24.800	7,6	3.400	15,9
Altres	40.100	14,6	42.600	13,1	2.500	6,2
Totals	274.000	100,0	325.000	100,0	51.000	18,6

Fonts: Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica, i elaboració pròpia

Taula 6

JAPÓ						
Classificació per sectors d'activitat						
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Automoció	73.300	26,8	86.500	26,6	13.200	18,0
Maquinària elèctrica	97.300	35,5	115.900	35,7	18.600	19,1
Maquinària no elèctrica	40.600	14,8	47.100	14,5	6.500	16,0
Química / Plàstics	38.100	13,9	45.700	14,1	7.600	19,9
Altres	24.700	9,0	29.800	9,2	3.950	8,6
Totals	274.000	100,0	325.000	100,0	51.000	18,6

Fonts: Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica, i elaboració pròpia

Taula 7

FRANÇA						
Classificació per funcions dels robots						
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Càrrega-descàrrega	870	10,2	970	9,9	110	12,6
Emmotllament de plàstics	810	9,5	950	9,7	140	17,3
Manipulació / Paletització	1.620	18,9	1.850	18,9	230	14,2
Muntatge	1.100	12,9	1.210	12,3	110	10,0
Recobriments / Pintura	300	3,5	230	3,4	30	10,0
Soldadura per arc	1.250	14,6	1.490	15,2	240	19,2
Soldadura per punts	1.740	20,4	2.020	20,6	280	16,1
Altres	860	10,1	990	10,1	130	10,3
Totals	8.550	100,0	9.810	100,0	1.260	14,7

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

Taula 8

FRANÇA						
Classificació per sectors d'activitat						
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Automoció	3.380	39,5	3.920	40,0	540	16,0
Maquinària elèctrica	640	7,5	670	6,8	30	4,7
Maquinària no elèctrica	1.380	16,1	1.520	15,5	140	10,1
Química / Plàstics	930	10,9	1.070	10,9	140	15,1
Altres	2.220	26,0	2.630	26,8	410	18,5
Totals	8.550	100,0	9.810	100,0	1.260	14,7

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

Taula 9

ESPANYA		Classificació per funcions dels robots					
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91		
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Càrrega-descàrrega	110	5,0	140	5,3	30	27,3	
Emmotllament de plàstics	20	0,9	20	0,8	0	0,0	
Manipulació / Paletització	330	14,9	370	14,1	40	12,1	
Muntatge	160	7,2	170	6,3	10	6,3	
Recobriments / Pintura	70	3,2	70	2,7	0	0,0	
Soldadura per arc	530	23,9	640	24,3	110	20,8	
Soldadura per punts	690	31,1	840	31,9	150	21,7	
Altres	310	14,0	380	14,4	70	22,6	
Totals	2.220	100,0	2.630	100,0	410	18,5	

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

Taula 10

ESPANYA		Classificació per sectors d'activitat					
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91		
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
Automoció	1.200	54,1	1.450	55,1	250	20,8	
Maquinària elèctrica	120	5,4	145	5,5	25	20,8	
Maquinària no elèctrica	620	27,9	710	27,0	90	14,5	
Química / Plàstics	30	1,4	50	1,9	20	66,7	
Altres	250	11,3	275	10,5	25	10,0	
Totals	2.220	100,0	2.630	100,0	410	18,5	

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

Taula 11

ALEMANYA, R.F.		Classificació per funcions dels robots				
	Any 1990		Any 1991		Increment 90-91	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Càrrega-descàrrega	3.050	10,8	3.550	10,4	500	16,4
Emmotllament de plàstics ¹	?	?	?	?	?	?
Manipulació / Paletització	4.850	17,2	5.790	17,0	940	19,4
Muntatge	5.260	18,6	6.440	18,9	1.180	22,4
Recobriments / Pintura	1.210	4,3	1.380	4,0	170	14,0
Soldadura per arc	4.510	16,0	5.040	16,9	530	11,8
Soldadura per punts	4.640	16,4	5.430	15,9	790	17,0
Altres	4.720	16,7	6.510	19,1	1.790	37,9
Totals	28.240	100,0	34.140	100,0	5.900	20,9

Fonts: *Recull IFR, Automatización Integrada & Revista de Robótica*, i elaboració pròpia

¹ Probablement estan inclosos en els de manipulació i paletització.

Anàlisi de les dades

L'anàlisi de les set taules anteriors aporta les observacions següents:

- a) La gran majoria de les funcions dels robots industrials es concentren en sis aplicacions: *càrrega/descàrrega*, *emmotllament de plàstics*, *manipulació/paletització*, *muntatge*, *soldadura per arc* i *soldadura per punts*; aquestes aplicacions representen entre un 75 i un 85% dels robots industrials instal·lats.
- b) La indústria japonesa destaca per l'alt nombre d'aplicacions de *muntatge*, amb un 40% dels robots instal·lats, seguides a molta distància per la *soldadura per arc* i l'*emmotllament de plàstics* (prop d'un 15% cada un), que alhora tenen una dinàmica de creixement superior a la mitjana.
- c) La indústria europea representada pels tres països analitzats, per

contra, destaca pel relatiu equilibri entre la *soldadura per punts*, la *manipulació/paletització*, la *soldadura per arc* i el *muntatge*, en ordre de més a menys (d'un 15 a un 11%) i les dinàmiques de creixement també són de les més altes.

- d) L'observació del punt *b* pot tenir l'explicació en el fet que l'aplicació de robots industrials a la indústria japonesa es concentra fortament a la *maquinària elèctrica* (un 35%, amb una preponderància pel muntatge), mentre que l'*automoció* resta en un segon lloc (tot just supera el 25%).
- e) Per contra, l'observació del punt *c* pot tenir l'explicació en el fet que l'aplicació de robots industrials en els països europeus analitzats es concentra principalment a la indústria d'*automoció* (més del 40%, amb una preponderància de soldadura per punts i per arc), mentre que la *maquinària no elèctrica* és la que ocupa el segon lloc (en concentra més d'un 15%).
- f) Espanya se suma a aquesta tendència europea de la concentració en el sector d'activitat de l'*automoció* (un 55%) i la reforça, fet que es reflecteix en l'alt percentatge de robots de *soldadura per punts* (un 32%) i de *soldadura per arc* (un 24%). En els darrers anys es percep una tendència vers la diversificació de les aplicacions de robots industrials en el mercat espanyol.

4.3 Organitzacions sobre robòtica industrial

Associacions sobre robòtica industrial

L'robòtica industrial ha suscitat una gran expectació i un gran interès en el seu entorn. Diversos col·lectius aviat han sentit la necessitat d'impulsar accions tals com, per exemple, la difusió de la informació, la coordinació d'ajudes, el foment de la investigació, l'establiment de normativa, etc. S'han format, doncs, associacions de robòtica en pràcticament tots els països desenvolupats, les quals s'han federat per mitjà de la IFR (International Federation of Robotics).

Les associacions més rellevants són:

JIRA (*The Japan Industrial Robot Association*, creada l'octubre 1972, amb seu a Tòquio). Els industrials i investigadors del Japó, tot i que es van incorporar relativament tard a la robòtica (1968), van ser els primers a formar-ne una associació. Avui dia el Japó ocupa el primer lloc indiscutit en el context de la robòtica mundial.

RIA (*Robot Institute of America*, creada el juny de 1974, Michigan; el 1984 va canviar el nom per *Robotic Industries Association*). EUA, país pioner en la construcció de robots industrials (1962), ha perdut el lideratge a favor del Japó, i, probablement, també respecte a la Comunitat Europea.

A Espanya hi ha:

AER (*Asociación Española de Robótica*, creada el maig de 1985, amb seu a Barcelona). Els primers robots industrials van ser instal·lats a SEAT (Zona Franca, Barcelona) el 1974; però la implantació real comença ben entrats els anys 1980.

Altres associacions de robòtica, ordenades segons la data de creació, són:

SIRI (*Società Italiana di Robotica Industriale*, creada el 1975, amb seu a Milà)

BRA (*British Robot Association*, creada el 1977, amb seu a Birmingham)

AFRI (*Association Française de Robotique Industrielle*, creada el 1978, amb seu a París)

SWIRA (*Swedish Industrial Robot Association*, creada el 1980, amb seu a Estocolm)

* (*Oy Nokia Ab Robotics*, creada el març de 1983, amb seu a Hèlsinki)

CIR (*Contacgroep Industriële Robots*, amb seu a Ijmuiden, Holanda)

BIRA (*Belgian Instituut voor Regeltechniek en automatizing VZW*, creada el 1980, amb seu a Antwerpen, Bèlgica)

* (*Australian Robot Association Inc.*, creada el 1981, amb seu a Sidney)

MHI (*Fachgemeinschaft Montagetechnik Handhabungstechnik und Industrie Robot (MHI)*, VDMA, creada l'octubre de 1981, amb seu a Frankfurt, Alemanya)

DIRA (*Dansk Robot Forening*, creada el febrer de 1982, amb seu a Århus, Dinamarca)

SIAA (*Singapore Industrial Automation Association*, creada el juny de 1982, amb seu a Singapur)

* (*China Society of Industrial Automation & Automated Industries*, amb seu a Taipei, Taiwan)

* (*Schweizerische Gesellschaft für Automatik, Arbeitsgruppe Robotik*, Berna, Suïssa)

MNTK (*"Robot" Interindustry Research and Production Association*, amb seu a Moscou, Rússia)

En els darrers anys s'ha sentit la necessitat de consolidar una organització internacional que coordini les accions sobre robòtica en l'àmbit mundial, iniciativa que ha donat per resultat:

IFR (*International Federation of Robotics*, creada el gener de 1987, amb seu a Estocolm, Suècia). A partir de l'any 1988, la IFR compila, a partir de les seves organitzacions nacionals, una estadística sobre robots industrials en els principals països del món. La IFR també s'ha responsabilitzat de la coordinació dels International Symposium of Industrial Robotics (ISIR) i de les International Conference on Advanced Robotics (ICAR).

Trobades tècniques i científiques

En el desenvolupament de la robòtica industrial hi han pres una part molt activa les universitats i els centres de recerca, tal com ja s'ha posat de manifest a l'enumeració de les dates històriques significatives (Volum I, Sec. 1.4).

En aquest sentit, la trobada internacional sobre robòtica industrial de més significació és:

ISIR (*International Symposium of Industrial Robotics*). Orientat vers l'intercanvi d'informació tecnològica i sobre recerca. El primer simposi va tenir lloc a Chicago el 1970 i el darrer (el 23è ISIR) ha tingut lloc a Barcelona l'any 1992. La seva periodicitat és anual i la seu és itinerant. S'ha procurat alternar EUA, Europa i Japó:

1r	Abril	1970	Chicago	EUA
2n	Maig	1972	Chicago	EUA
3r	Maig	1973	Zuric	Suïssa
4t	Novembre	1974	Tòquio	Japó
5è	Setembre	1975	Chicago	EUA
6è	Març	1976	Nottingham	Regne Unit
7	Octubre	1977	Tòquio	Japó
8è	Maig	1978	Stuttgart	RFA
9è	Març	1979	Washington	EUA
10è	Març	1980	Milà	Itàlia
11è	Octubre	1981	Tòquio	Japó
12è	Juny	1982	París	França
13è	Abril	1983	Chicago	EUA
14è	Octubre	1984	Göteborg	Suècia
15è	Setembre	1985	Tòquio	Japó
16è	Set/oct	1986	Brussel·les	Bèlgica
17è	Abril	1987	Chicago	EUA
18è	Abril	1988	Lausana	Suïssa
19è	Novembre	1988	Sidney	Austràlia
20è	Octubre	1989	Tòquio	Japó
21è	Octubre	1990	Copenhaguen	Dinamarca
22è	Octubre	1991	Detroit	EUA
23è	Set/oct	1992	Barcelona	Espanya

Els 23 simposis celebrats fins l'any 1992 han originat una documentació, mitjançant les seves actes, de primera magnitud sobre la robòtica industrial.

ICAR (*International Conference on Advanced Robotics*). Orientat vers la cooperació internacional en la recerca sobre tecnologies avançades de robòtica). El projecte de conferència, acordat el juny de 1982 a Versalles per set països industrialitzats, va ser organitzat per primer cop pel Japó el 1983.

1r	Setembre	1983	Tòquio	Japó
2n	Setembre	1985	Tòquio	Japó
3r	Octubre	1987	Versalles	França
4t	Juny	1989	Columbus	EUA
5è	Juny	1991	Pisa	Itàlia

L'interès creixent que ha despertat la robòtica industrial a diferents països desenvolupats ha fet que proliferessin els simposis, les conferències i els congressos d'àmbit nacional i internacional.

A Espanya l'Asociación Española de Robótica organitza:

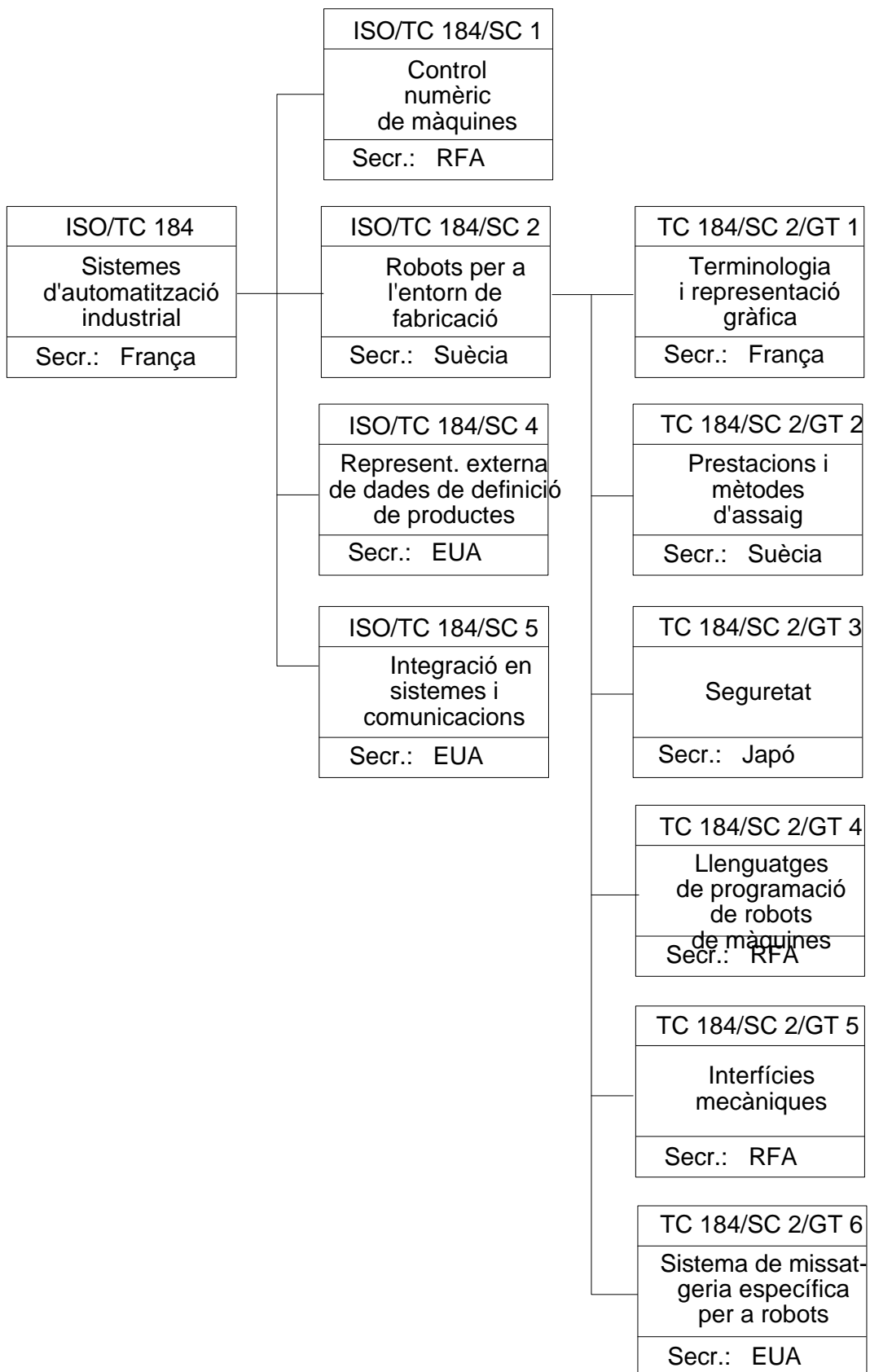
* *Congreso de la Asociación Española de Robótica*, amb periodicitat biennal, que s'ha celebrat, ja, dues vegades:

1r	Novembre	1989	Saragossa
2n	Novembre	1991	Saragossa

Quant a la documentació i la informació sobre robòtica industrial, atès el caràcter multidisciplinari d'aquesta tecnologia, es troba molt repartida i difosa en multitud de publicacions de diferents camps de la ciència i de la tècnica, tot i que existeixen determinades revistes especialitzades.

Normativa

La fixació d'una normativa ha estat una de les preocupacions principals dels fabricants i usuaris de la robòtica. Des de la terminologia, passant per la definició de les prestacions, fins a la determinació dels mètodes d'assaig, han estat objecte dels grups de treball ISO/TC 184/SC.



Les normes ISO sobre robots industrials són les següents:

- ISO/TR 8373 - 1988 Robots manipulateurs industriels - Vocabulaire.
(Arran de la publicació d'aquesta norma, l'Asociación Española de Robótica va promoure la fixació en les llengües castellana i catalana dels termes continguts a la norma).
- ISO 9401-1 : 1988 Robots manipulateurs industriels - Interfaces mécaniques.
Partie 1: Interfaces circulaire.
- ISO 9283 : 1990 Robots manipulateurs industriels - Critères de performance et méthodes d'essai correspondants.
- ISO 9787 : 1990 Robots manipulateurs industriels - Système de coordonnées et mouvement.
- ISO 9946 : 1991 Robots manipulateurs industriels - Présentation des caractéristiques.

5 Aplicacions i terminals

5.1 Tipus d'aplicació

Tot i que un robot industrial, gràcies a la seva concepció flexible, és una màquina capaç de realitzar una gran diversitat de moviments i de funcions i, en definitiva, de tasques, les característiques i prestacions necessàries per a l'execució de cada una no són les mateixes.

Aquest fet ha donat lloc als robots especialitzats en determinades aplicacions, o al requeriment d'un conjunt de característiques per a cada tipus de tasca determinada. Les principals aplicacions dels robots industrials es poden classificar en els tres grups següents:

A) *Manipulació d'objectes*

Conjunt d'aplicacions basades en la premsió i subjecció d'objectes i el seu desplaçament entre poses determinades en les quals s'utilitza un tipus de terminal anomenat *premsor*. Atès que en aquestes aplicacions cal precisar la posa on es realitza la premsió i la posa on es deixa l'objecte, sense un interès específic per la trajectòria recorreguda, és adequat un sistema de control posa a posa. Per tal de fer la tasca eficaç, són desitjables velocitats i acceleracions elevades. Quant a la càrrega nominal pot ser molt variable en funció de l'aplicació concreta.

Entre les tasques que corresponen a aquest primer grup d'aplicacions hi ha:

- La transferència
- La paletització
- La càrrega i descàrrega de màquines

B) *Operacions de procés*

Conjunt d'aplicacions que inclou totes aquelles tasques que comporten un procés, o una transformació, de la peça sobre la qual s'actua i en les quals generalment el robot industrial manipula una *eina*. L'estructura articulada del robot industrial, l'espai de treball i l'accessibilitat, la càrrega nominal, la velocitat màxima, així com el tipus de control, varien molt d'una aplicació a l'altra.

Les operacions de procés més freqüentment realitzades per robots industrials són:

- Soldadura per punts
- Soldadura per arc
- Pintura per projecció
- Altres operacions de procés

C) *Muntatge i inspecció*

Conjunt d'aplicacions que inclou aquelles tasques que comporten la col·locació de diverses peces en posicions relatives, i eventualment la seva fixació per mitjà de determinats elements d'unió, de tal manera que formen un conjunt més complex, o grup. El *muntatge* va més enllà de la manipulació en exigir un posicionament precís entre peces, a més d'altres capacitats, com són l'acomodació (passiva o activa) en tasques d'inserció, l'execució de forces en determinats acoblaments, etc. Es prefereixen estructures articulades senzilles amb direccions de muntatge preferents, amb velocitat i precisió elevades. Els terminals més freqüents són els *prensors*, tot i que en determinats casos poden utilitzar *eines* destinades als elements d'unió.

Entre les tasques més destacades d'aquest tercer grup d'aplicacions hi ha:

- Col·locació relativa de peces
- Muntatge amb inserció
- Muntatge amb unions cargolades o reblonades
- Inspecció

Requeriments del robot segons les aplicacions

Les principals característiques que ha de reunir el robot industrial per a cada una d'aquestes aplicacions, són:

Aplicació	Estructura articulada	Nombre d'eixos	Programació	Control (1)	Càrrega nominal	Repetibilitat
Manipulació	Esfèrica Angular Cilíndrica	de 4 a 5	per guiatge	PTP	mitjana alta	baixa
Soldadura per punts	Angular Esfèrica	de 5 a 7	per guiatge	PTP	alta	baixa
Soldadura per arc	Angular Esfèrica Cartesiana	de 5 a 6	per guiatge	CP	baixa	alta
Pintura i recobriments	Angular	de 6 a 8	per guiatge (manulament)	CP	baixa	baixa
Muntatge	Scara Cartesiana Angular	de 3 a 6	per guiatge per llenguatge	PTP CP	mitjana baixa	alta

(1) PTP = Posa a posar; CP = Trajectòria contínua

5.2 Terminals. Prensors

A totes les definicions de robot industrial, apareix directa o indirectament que el robot és una màquina destinada a:

"... la premsió i desplaçament de peces i eines, o altres dispositius especials ..."

L'estructura mecànica del robot industrial ofereix la mobilitat necessària per a la realització d'una gran diversitat de tasques, però cal un dispositiu a l'extrem d'aquesta estructura per tal que executi una tasca específica. Aquest dispositiu és el *terminal*.

El terminal és, doncs, qualsevol dispositiu que es fixa a la *interfície mecànica del puny*, per mitjà de l'*acoblament de terminal*, i que té per missió l'execució de la tasca específica que té encomanat el sistema. Per tant, el *terminal* no forma part pròpiament del robot industrial i constitueix l'element que adequa el robot a cada aplicació.

Els terminals es classifiquen en dos grans grups:

Prensors Són terminals que s'utilitzen per a la premsió, la subjecció i el desplaçament d'objectes entre poses determinades.

Eines Són terminals que executen altres tasques que la de premsió i subjecció d'objectes. Generalment corresponen a operacions de procés.

Els *prensors* són els terminals més freqüents a les aplicacions dels robots industrials, ja que són utilitzats a totes les tasques de manipulació, a un gran nombre de tasques de muntatge i a un nombre creixent d'operacions de procés. Les *eines* utilitzades com a terminal del robot industrial són més diverses, i en correspon un tipus a cada un dels processos específics.

És per això que, a la resta d'aquesta secció, es dedicarà l'atenció a l'anàlisi dels terminals de tipus *prensor*, mentre que es deixarà la descripció dels terminals de tipus *eina* a cada una de les seccions on s'analitzen les aplicacions corresponents.

Prensors

Com ja s'ha dit, els *prensors* són aquells terminals que tenen per funcions la *premsió*, la *subjecció* i el *desplaçament* d'objectes. Els prensors es poden classificar en els grups següents:

- a) *Prensors unilaterals*. Són aquells que subjecten l'objecte a partir d'una força unilateral d'atracció. Els dos tipus principals de prensor unilateral utilitzats com a terminal dels robots industrials són:
 - a1) *Prensors de buit*. Funcionen per mitjà de l'acció d'una o més ventoses que creen un buit sobre la peça.
 - a2) *Prensors magnètics*. Funcionen per mitjà de l'acció d'un imant o un electroimant que atrauen objectes ferromagnètics.
- b) *Prensors bilaterals (o pinces)*. Són aquells que realitzen la subjecció a partir de tancar dos dits sobre l'objecte, per mitjà d'un mecanisme d'un grau de mobilitat. Les *pinces*, que són els prensors més utilitzats en els robots industrials, en funció del tipus d'acció entre la pinça i l'objecte, presenten dos principis de funcionament:
 - b1) *Pinces de subjecció per força*. La subjecció es confia a la força que els dits de la pinça exerceixen sobre l'objecte, i a les corresponents forces d'adherència transversals.
 - b2) *Pinces de subjecció per forma*. La subjecció es confia a l'empresonament de l'objecte per la pinça gràcies a l'acoblament de formes entre els dits i l'objecte
- c) *Prensors multilaterals (o mans)*. Són aquells que realitzen la subjecció a partir d'abraçar l'objecte a diversos punts a partir de mecanismes amb diferents graus de mobilitat. La subjecció es realitza per una combinació dels principis de força i de forma.

Alguns prensors multilaterals han de ser considerats com a pinces ja que presenten un sol grau de mobilitat (exemple: pinça de tres dits).

Prensor de buit

És un *prensor* que, per mitjà de creació o supressió del buit sobre una o més ventoses, és capaç de subjectar i manipular objectes amb superfícies llises de diverses formes. Els prensors de buit poden ser accionats per:

- a) *Bomba de buit*. Pot realitzar un esforç de tracció important, però necessita una bomba de buit de cost elevat (Fig. 5.1a).
- b) *Dispositiu de Venturi*. El dispositiu d'accionament és molt més econòmic, però l'esforç de tracció que pot realitzar és molt inferior, i el temps de resposta és molt més llarg (Fig. 5.1b).

És un sistema de premsió simple i de poc volum utilitzat a la manipulació d'objectes de xapa, de vidre, de cartró i anàlegs. Una aplicació específica és la càrrega/descàrrega de xapes en línies de premses.

Prensor magnètic

És un *prensor* que, per mitjà de l'atracció magnètica, és capaç de subjectar i manipular objectes de materials ferromagnètics i, de forma especial, xa-pes i bandes d'acer. Els prensors magnètics es poden dividir en dos grups:

- a) *Prensors magnètics per imants permanents*. En aquest cas la premsió es realitza simplement per proximitat, mentre que l'alliberament de l'objecte s'efectua per mitjà d'un sistema d'expulsió accionat independentment (Fig. 5.2).
- b) *Prensors magnètics per electroimant*. En aquest cas la premsió es realitza, un cop el prensor magnètic és en contacte amb l'objecte, per mitjà de l'alimentació de l'electroimant, mentre que l'alliberament es realitza desactivant l'electroimant (Fig. 5.3).

Avantatges. Sistemes senzills que tenen una duració prolongada i exigeixen poc manteniment; admeten una gran flexibilitat quant a les formes i dimensions dels objectes manipulats; el temps de premsió és molt curt.

Inconvenients. Dificultats de posicionament i perill de relliscada lateral durant la manipulació; la magnetització residual dels objectes pot donar lloc a dificultats posteriors de manipulació, muntatge o neteja; els electroimants presenten problemes de seguretat en el cas d'un tall d'alimentació.

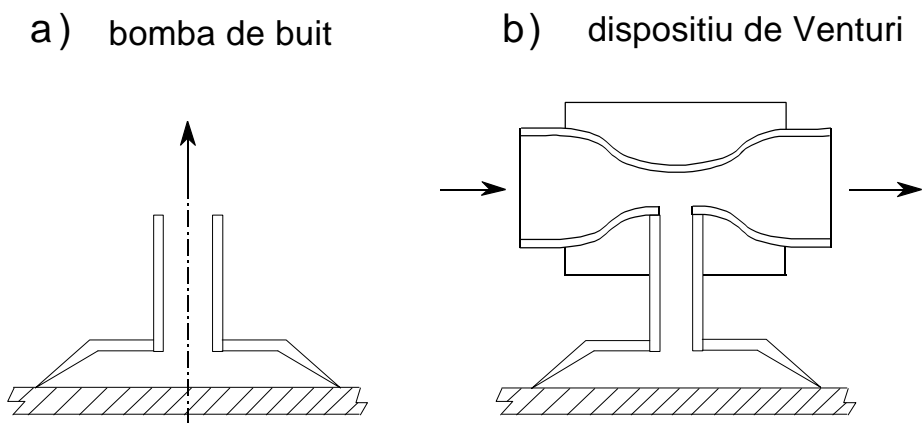


Figura 5.1

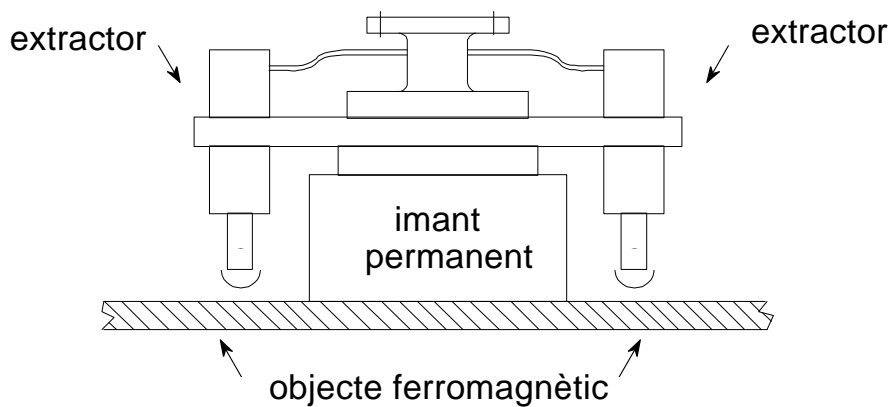


Figura 5.2

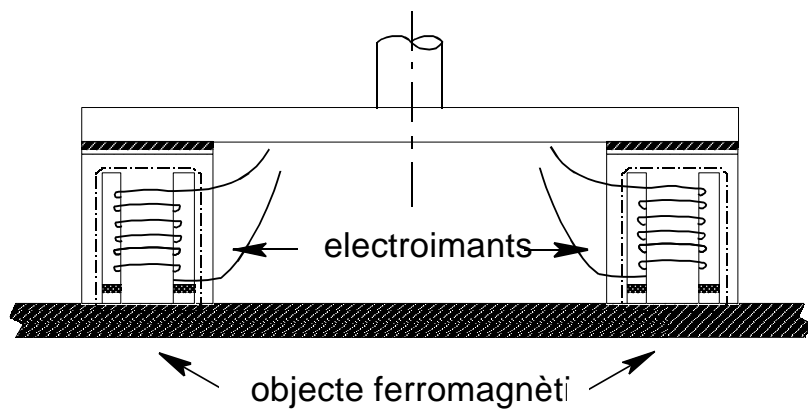


Figura 5.3

Pinces:

Mecanisme d'accionament i forma dels dits

En el moment de triar el sistema de pinça per a un robot industrial és freqüent separar les dues qüestions següents:

- a) D'una banda, es pren com a base una *pinça estàndard* amb un mecanisme d'accionament que respongui al conjunt de necessitats de les aplicacions de l'usuari (més endavant s'avaluen diversos dels *mecanismes d'accionament de pinça* més freqüentment usats).
- b) D'altra banda, per a cada tasca concreta s'adopten un dits amb el principi de subjecció, la forma i les dimensions adequades a la peça que ha de ser manipulada.

Subjecció per força i subjecció per forma

Com ja s'ha dit, a les *pinces de subjecció per força*, la subjecció es confia a la força de pressió i a les corresponents forces d'adherència (Fig. 5.4a), mentre que a les *pinces de subjecció per forma*, la subjecció es confia a l'acoblament de formes (Fig. 5.4b). A la pràctica, sovint s'adopten *pinces* que combinen en divers grau els dos principis de funcionament.

Avantatges i inconvenients

El sistema de *subjecció per força* presenta l'avantatge d'admetre la pressió d'objectes d'una gran varietat de formes i dimensions (versatilitat), mentre que exigeix una força relativament gran per assegurar una bona subjecció.

El sistema de *subjecció per forma* és molt rígid quant a formes i dimensions dels objectes (rigidesa), però en canvi amb una força molt petita s'assegura una bona subjecció.

Formes de dits

La Figura 5.5 representa una pinça estàndard (Fig. 5.5a), amb dits de diferents formes i dimensions per a la manipulació de peces concretes: Dits per a subjecció d'interiors (Fig. 5.5b); dits de subjecció per forma múltiple (Fig. 5.5c); dits per a subjecció d'una varietat de diàmetres (Fig. 5.5d).

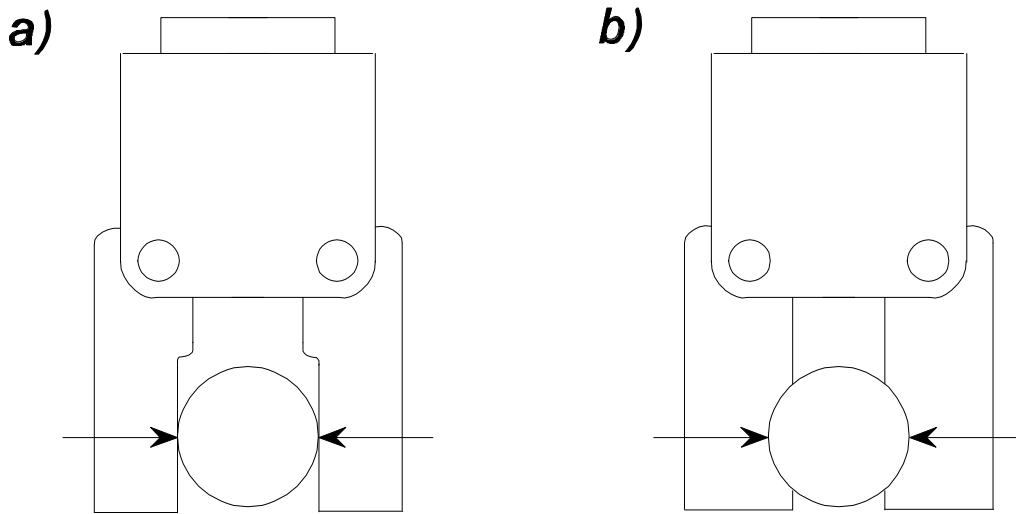


Figura 5.4

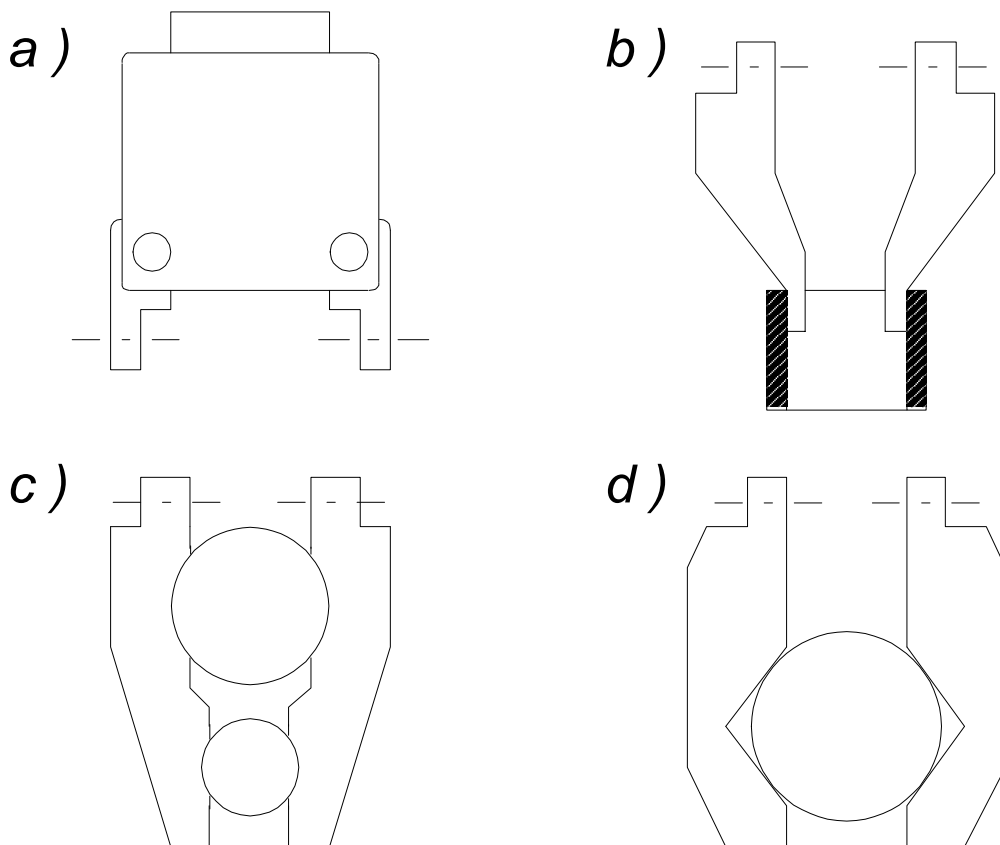


Figura 5.5

Pinces de dits deformables

Les pinces de dits deformables, accionades pneumàticament, constitueixen un sistema senzill, poc costós i fiable per resoldre el problema de la premsió d'objectes. No són freqüents les solucions estàndard i l'usuari ha d'adaptar la solució a cada cas. A continuació es donen alguns exemples:

a) *Pinça exterior de dits deformables* (Fig. 5.6)

Pinça formada per un suport rígid dintre del qual hi ha uns elements elàstics que es deformen per acció de la pressió pneumàtica i que, en disminuir l'espai interior realitzen la premsió des de l'exterior de l'objecte.

Avantatges. Sistema simple, de baix cost i fiable. Els dits s'adapten a formes variables, dintre d'uns determinats límits. Premsió ràpida que no danya l'objecte.

Desavantatges. Solució voluminosa que realitza la subjecció per força. Amplitud d'obertura limitada. Solució poc universal.

b) *Pinça interior de dits deformables* (Fig. 5.7)

Pinça anàloga a la del cas anterior, però que realitza la premsió de l'objecte des d'una part interior, amb els mateixos avantatges i desavantatges.

c) *Pinça envolvent de dits deformables* (Fig. 5.8)

Pinça constituïda per dos dits flexibles, cada un dels quals té una part (la interior) poc deformable longitudinalment i una altra part (l'exterior) molt més deformable longitudinalment. En aplicar-hi pressió els dits es pleguen vers l'interior i s'adapten a l'objecte que cal prendre. Constitueix una pinça apte per a la manipulació d'objectes fràgils de petites dimensions.

Avantatges. Sistema simple, de baix cost i fiable. Dispositiu poc voluminós capaç d'adaptar-se a una gran varietat de formes i dimensions. Premsió ràpida que no danya l'objecte.

Desavantatges. La força de premsió és molt dèbil. Referenciació de l'objecte molt poc precisa.

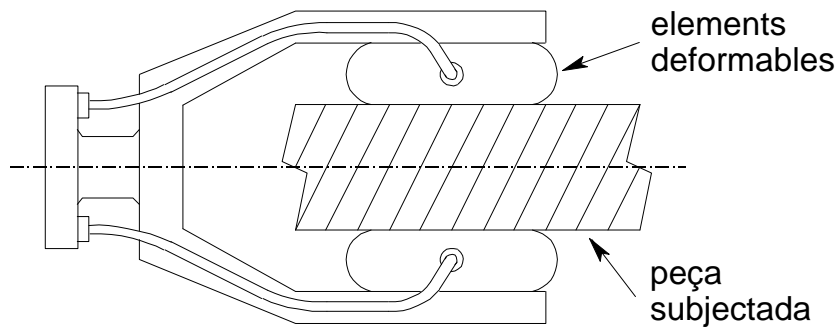


Figura 5.6

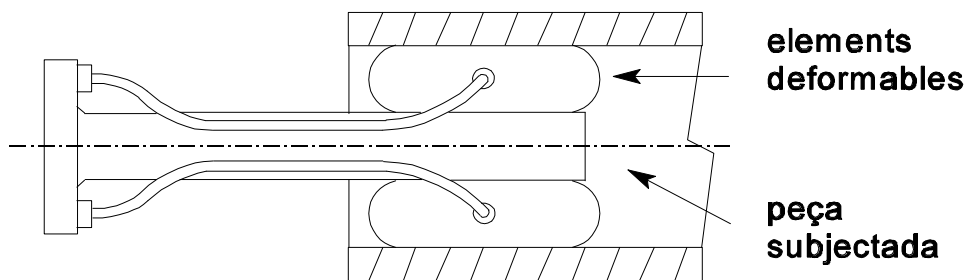


Figura 5.7

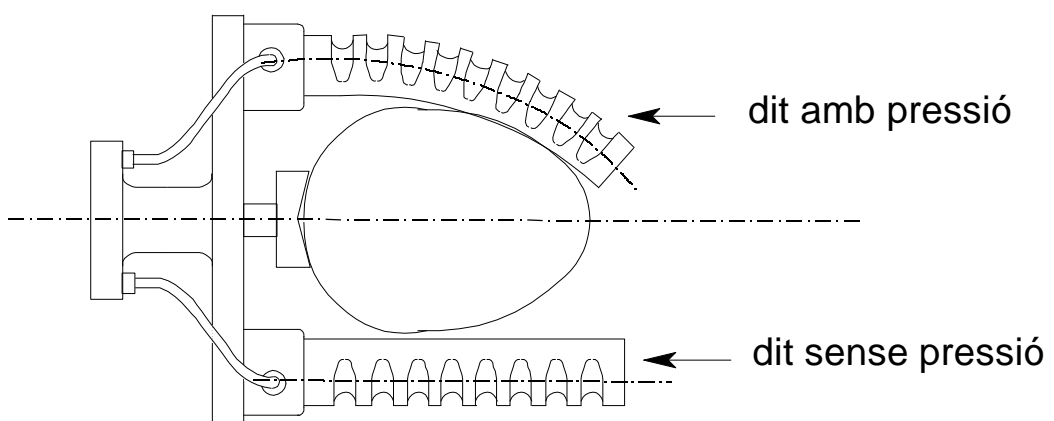


Figura 5.8

Mecanismes d'accionament de pinça (1)

a) *Pinça transversal simple de pistó* (Fig. 5.9)

Mecanisme accionat per un pistó que facilita una disposició de *pinça transversal* en la qual es pot situar el mecanisme a distància dels dits. Pot ser apte, doncs, per a la manipulació en ambients difícils (presència de brutícia, temperatures elevades, etc.). Els dits poden ser dissenyats de forma que es pugui accedir a espais reduïts.

Avantatges. El mecanisme és senzill, poc costós i fiable. Pot efectuar una cursa d'obertura relativament gran. La força de pressió és constant i els valors, moderadament elevats.

Desavantatges. L'objecte es desplaça en la pressió. Si els dits són molt allunyats de l'accionament, cal independitzar-ne el sistema de guiatge.

b) *Pinça transversal simple de cremallera* (Fig. 5.10)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, accionat per un sistema de pinyó-cremallera.

Avantatges. El mecanisme és senzill i poc costós. Pot efectuar una cursa d'obertura important. La força de pressió és constant, però els seus valors són moderats.

Desavantatges. La velocitat de tancament és relativament baixa. L'objecte es desplaça en la pressió.

c) *Pinça transversal doble de cremallera* (Fig. 5.11)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què el pinyó acciona dues cremalleres que mouen simètricament els dos dits.

Avantatges. El mecanisme és senzill i poc costós. Pot efectuar una cursa d'obertura important i se centra l'objecte en la pressió. La força de pressió és constant, però els seus valors són moderats.

Desavantatges. La velocitat de tancament és relativament baixa.

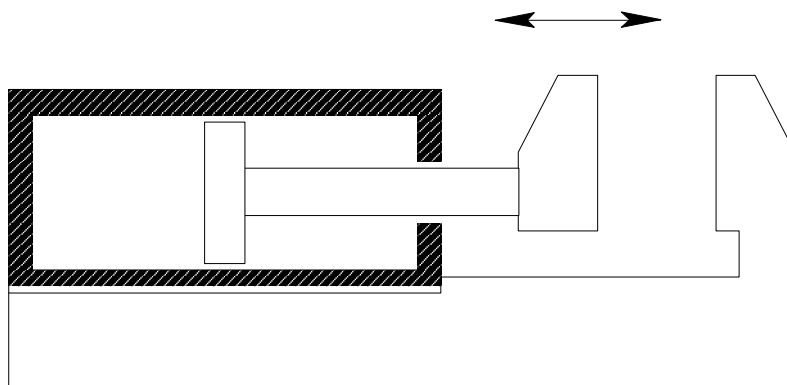


Figura 5.9

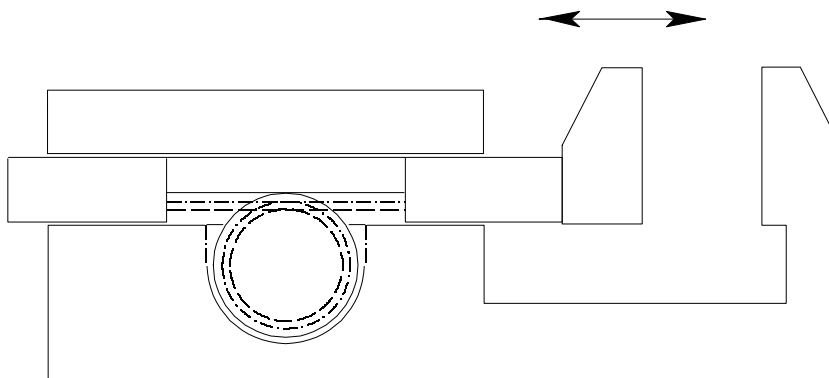


Figura 5.10

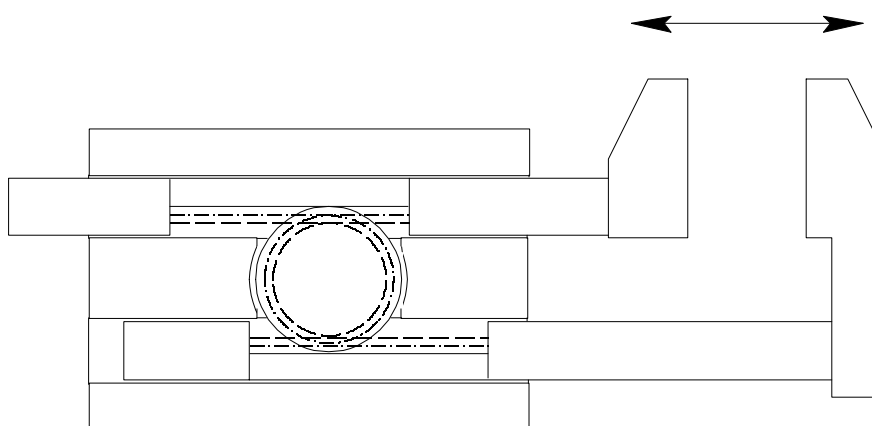


Figura 5.11

Mecanismes d'accionament de pinça (2)

d) *Pinça frontal de palanca angular* (Fig. 5.12)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un pistó que transmet el moviment per mitjà d'unes palanques angulars. Les forces transversals sobre la pinça repercuteixen sobre el pistó. Les principals aplicacions corresponen al muntatge i a la manipulació de petites peces.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill, poc costós i compacte. Pot efectuar una cursa d'obertura relativament gran i centra la peça en la premsió. Els valors de la força de premsió són moderadament elevats.

Desavantatges. Els dits varien d'angle en variar l'obertura, fet que pot dificultar la premsió d'objectes de dimensions diferents.

e) *Pinça frontal de lleva* (Fig. 5.13)

Mecanisme anàleg l'anterior, en què l'obertura de la pinça es realitza per mitjà d'un mecanisme de lleva.

Avantatges. Mecanisme senzill i poc costós. La força de premsió és elevada i centra l'objecte en la premsió. Si el contacte lleva-seguidor és de fricció i l'angle de la lleva és petit, pot retenir l'objecte en cas de fallada del pistó (seguretat).

Desavantatges. L'obertura de la pinça és molt petita.

f) *Pinça frontal de genollera* (Fig. 5.14)

Mecanisme anàleg als anteriors, en què l'obertura de la pinça es fa per mitjà d'un mecanisme de genollera (alineació de les barres de transmissió).

Avantatges. Mecanisme relativament senzill, poc costós i compacte. La força de premsió és molt elevada i centra l'objecte en la premsió. Si l'alineació de les barres és gran, pot retenir l'objecte en cas de fallada de l'alimentació del pistó (seguretat).

Desavantatges. L'obertura de la pinça és important, però s'adapta malament a la premsió d'objectes de gruixàries diferents.

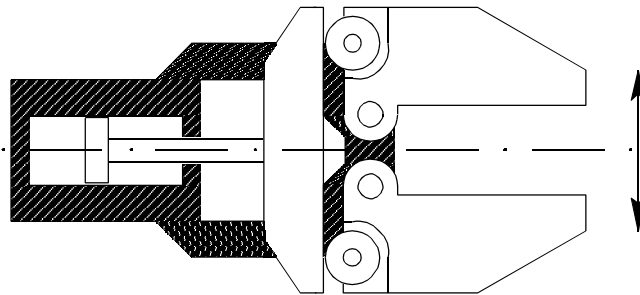


Figura 5.12

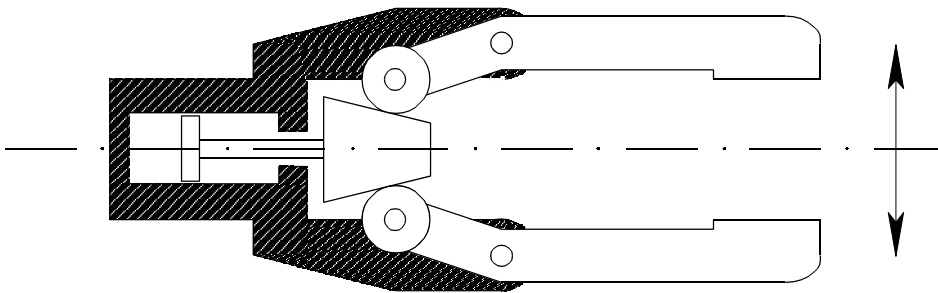
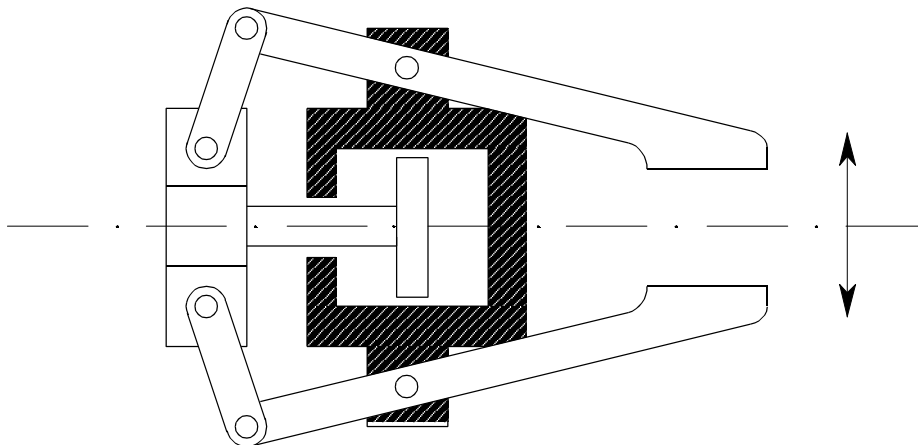


Figura 5.13

Figura 5.14



Mecanismes d'accionament de pinça (3)

g) *Pinça frontal de cremallera amb dits giratoris* (Fig. 5.15)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un pistó que transmet el moviment per mitjà d'una cremallera i dos pinyons o sectors dentats. Les forces transversals sobre la pinça no repercuteixen sobre el pistó. Té aplicacions molt diverses.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill i poc costós. Pot efectuar una obertura molt gran de la pinça. La força de pressió és moderada però centra l'objecte.

Desavantatges. Els dits varien d'angle en variar l'obertura, fet que pot dificultar la pressió d'objectes de dimensions diferents. Per a grans obertures, la força de pressió és molt feble.

h) *Pinça frontal de cremallera amb dits paral·lels* (Fig. 5.16)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què cada un dels dits és suportat per un paral·lelogram articulat que li proporciona un moviment de translació paral·lela.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill i no gaire costós. Pot efectuar una obertura molt gran de la pinça tot mantenint els dits paral·lels. La força de pressió és moderada, però centra l'objecte.

Desavantatges. Per a grans obertures, la força de pressió és feble.

i) *Pinça frontal de cremallera amb dits desplaçables* (Fig. 5.17)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què els pinyons engranen amb unes cremalleres transversals unides als dos dits desplaçables de la pinça.

Avantatges. Mecanisme senzill, poc costós, fiable i molt compacte. Pot efectuar una obertura moderadament gran de la pinça i centra l'objecte. La força de pressió és moderada, però constant. Poden actuar més de dos dits en sentit radial (és freqüent la construcció amb tres dits).

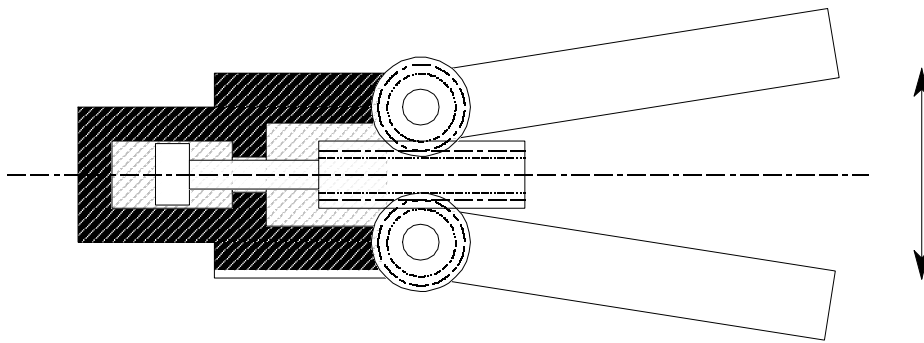


Figura 5.15

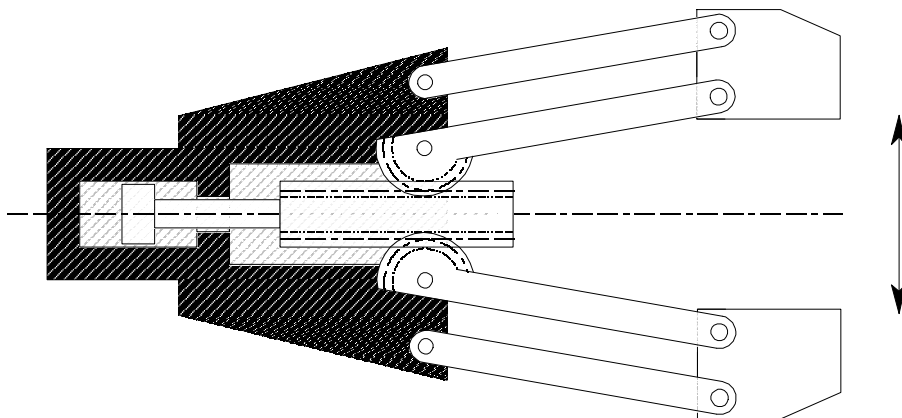


Figura 5.16

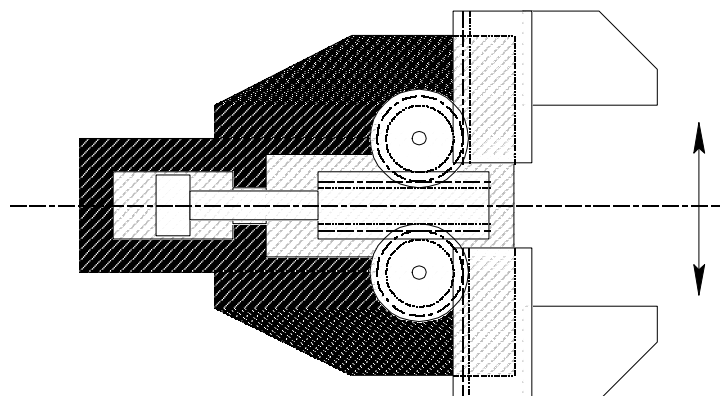


Figura 5.17

Mecanismes d'accionament de pinça (4)

j) *Pinça frontal de cremallera transversal* (Fig. 5.18)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un motor giratori que transmet el moviment per mitjà d'un pinyó i dues cremalleres transversals unides als dos dits desplaçables de la pinça. Té aplicacions molt diverses.

Avantatges. Mecanisme senzill, poc costós, fiable i molt compacte. Pot efectuar una obertura moderadament gran de la pinça i centra l'objecte.

Desavantatges. La força de pressió és feble, però constant. La pressió és relativament lenta.

k) *Pinces especials*

Existeixen una gran diversitat de pines especials adaptades a la manipulació d'objectes de forma, dimensions i consistència determinades, que compleixen especificacions donades per l'usuari. La Figura 5.19 mostra un exemple de *pinça especial per a tubs de vidre*, que funciona per subjecció de forma.

Mans (Fig. 5.20)

Com ja s'ha definit anteriorment, són *prensors multilaterals* que abracen l'objecte en diversos punts a partir de mecanismes amb diversos graus de mobilitat. La subjecció es realitza per una combinació dels principis de força i de forma.

Avantatges. Són elements d'una gran versatilitat que permeten la subjecció d'objectes de formes i dimensions molt variades.

Desavantatges. Són mecanismes complexos i costosos. No permeten una bona referència de l'objecte i, en general, la força de pressió és baixa.

Tenen poca aplicació industrial, ja que els inconvenients (complexitat, alt cost, mala referència) són superiors als avantatges (versatilitat).

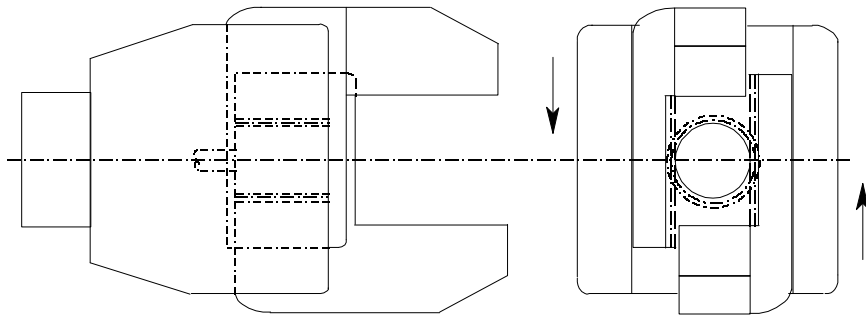


Figura 5.18

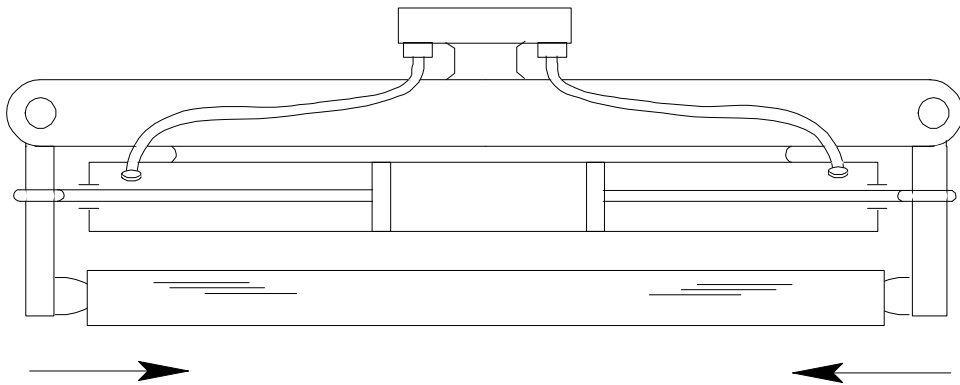


Figura 5.19

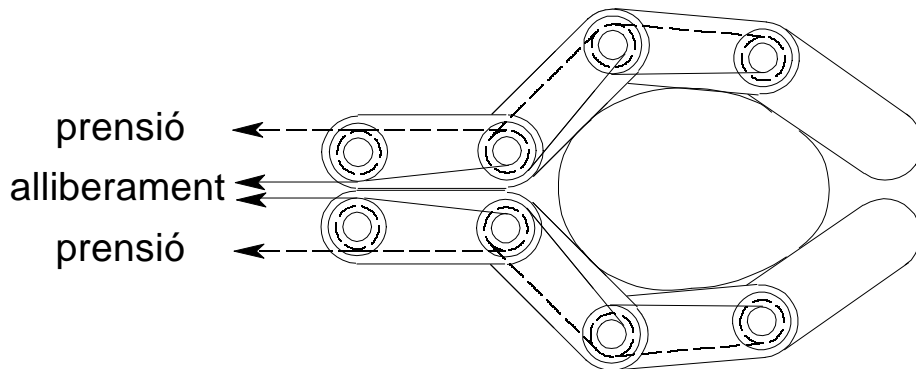


Figura 5.20

5.3 Manipulació d'objectes

Com ja s'ha comentat en la secció 5.1, entre les tasques corresponents a aquestes aplicacions hi ha:

- a) Transferència d'objectes
- b) Paletització/despaletització
- c) Càrrega i descàrrega de màquines

a) Transferència d'objectes

Descripció de l'operació

La transferència d'objectes és una operació relativament senzilla que consisteix a prendre un objecte en una posició donada, executar un desplaçament i lliurar-lo en una altra posició concreta, la majoria de vegades sense un canvi d'orientació de l'objecte.

En general, cal una interrelació entre el control del robot i el seu entorn (*enclavaments*) per assegurar la presència de l'objecte en el lloc de premsió, o assegurar que no hi ha un altre objecte en el lloc de lliurement. En les operacions de transferència, aquests enclavaments són senzills, del tipus microrruptor o detector de presència.

Si es tracta de realitzar la premsió d'un objecte en moviment, el sistema d'enclavament es complica notablement i exigeix algun sensor del tipus visió artificial. En la manipulació d'objectes fràgils pot ser interessant un enclavament basat en un sensor tàctil, a fi de limitar la força de premsió.

Terminals

Els terminals típics de les operacions de transferència són els premsors, de formes i dimensions molt variables en funció de l'objecte transferit. Com que en general, en la transferència, es busca de minimitzar el temps, caldrà que el premsor subjecti correctament l'objecte a fi d'evitar que es deprenghi de la pinça durant les acceleracions i eventuais sotragades.

Característiques dels robots

Estructura mecànica. Pot ser relativament simple (cartesiana, Scara i, també, cilíndrica, esfèrica o angular) i n'hi ha prou amb un grau de mobilitat 3 o 4. La càrrega nominal és variable en funció de l'aplicació. Convenen velocitats elevades i en general n'hi ha prou amb una repetibilitat moderada. Algun cop s'afegeix un nou eix, per mitjà d'una *base mòbil* (Fig. 5.22), que amplia l'espai de treball del robot.

Programació i control. La programació es realitza la majoria de vegades per guiatge. En l'operació de transferència importen bàsicament les poses inicial i final del moviment i, per tant, n'hi ha prou amb el control posa a posa.

b) Paletització/despaletització

Descripció de l'operació

L'automatització, i sobretot la manipulació automatitzada d'objectes i peces, ha estès la utilització de *palets* (Fig. 5.21), que són contenidors compartimentats, o amb elements de fixació, que permeten situar ordenadament un determinat nombre de peces iguals, per al transport i manipulació de conjunt. D'aquesta manera no es perd l'ordre amb la qual cosa es faciliten les tasques de manipulació.

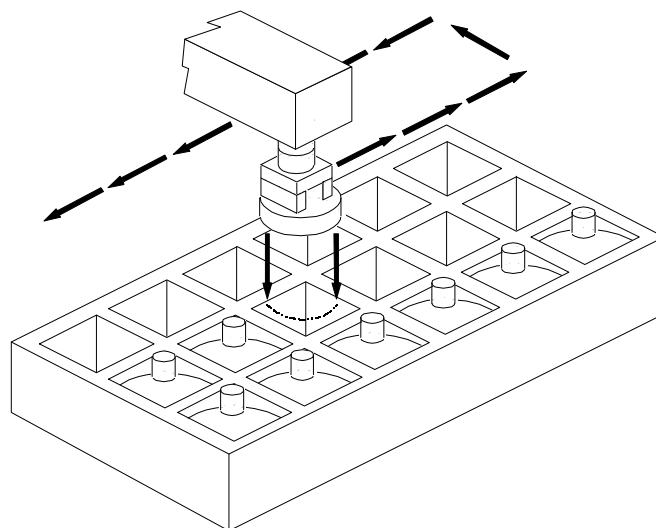


Figura 5.21

El fet de no perdre l'ordre i l'orientació de les peces és, en general, un aspecte important en els processos automatitzats, ja que facilita la manipulació. La *paletització* i la *despaletització* són les operacions de posar i retirar les peces d'un *palet*. En termes generals, l'operació és anàloga a la de *transferència*, amb l'única diferència que la posa de premsió, o de lliurament, és diferent a cada una de les successives operacions (Fig. 5.21).

Característiques dels robots. Terminals

Tant les característiques dels robots industrials com els tipus de terminals utilitzats a la *paletització/despaletització* són anàlogues a les de les operacions de *transferència*.

Hi ha, però, una diferència. Convé que el sistema de control dels robots utilitzats en la paletització/despaletització utilitzin un llenguatge d'alt nivell que faciliti el càlcul de les successives posicions del robot respecte al palet a partir d'una referència, sense haver de recórrer a una programació per guiatge de cada una d'aquestes posicions.

c) Càrrega i descàrrega de màquines

Descripció de les operacions

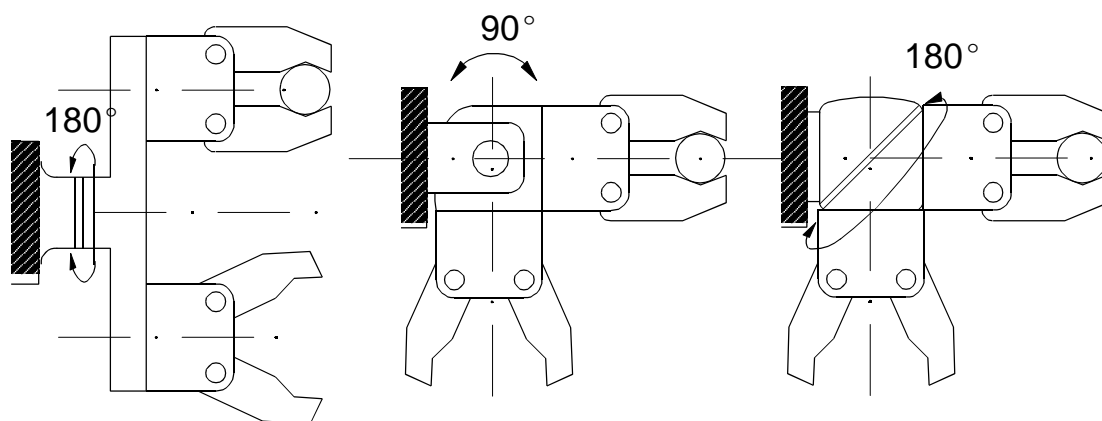
La càrrega i descàrrega de màquines presenta analogies molt importants amb la transferència de peces, però també presenta certes diferències, degudes sobretot al fet que el robot industrial en aquest cas està al servei d'una màquina, o màquines, i s'ha de supeditar a algunes exigències d'aquestes.

Hi ha les aplicacions aplicacions:

Càrrega/descàrrega de màquines. El robot carrega la peça en brut a la màquina, i descarrega la peça processada. Exemple: càrrega/descàrrega de màquines-eina.

A fi de minimitzar el temps d'aturada de la màquina-eina durant la manipulació del robot, és important l'ús d'una *doble pinça* (Fig. 5.22), això és, dues pinces muntades sobre un mateix suport que, per mitjà d'un gir de 90° o 180°, s'encaren una o altra pinça respecte a la zona de treball.

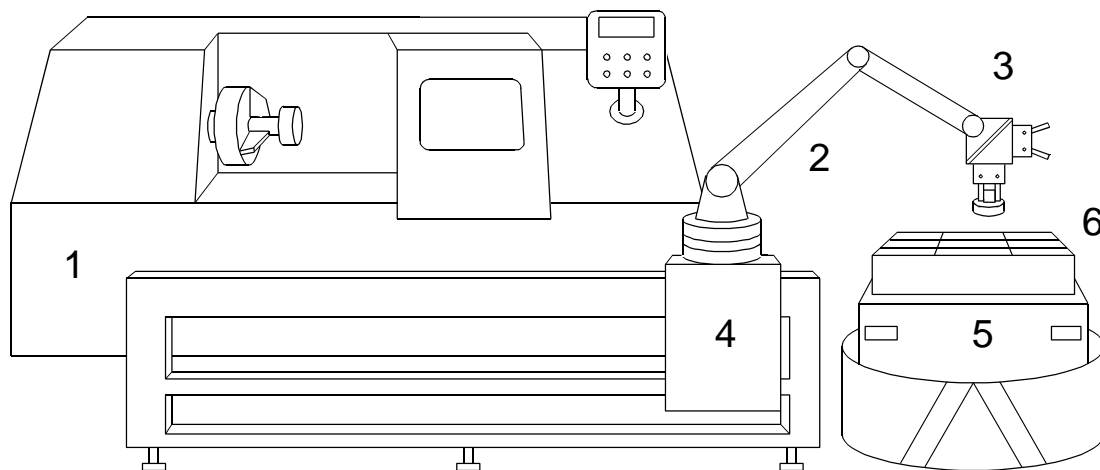
També és interessant que el puny tingui una certa mobilitat per facilitar l'orientació de les peces respecte la màquina.



Diferents disposicions de doble pinça

Figura 5.22

La Figura 5.23 mostra un sistema de càrrega/descàrrega d'un torn horitzontal amb diversos dels sistemes d'automatització descrits anteriorment.



1 Torn horitzontal; 2 Robot industrial; 3 Doble pinça; 4 Base mòbil;
5 Vehicle guiat automàticament (AGV, Automatically Guided Vehicle); 6 Palet

Figura 5.23

Càrrega de màquines. El robot industrial carrega la peça o material a la màquina, però aquest surt per algun altre procediment (gravetat, per una cinta, etc.). Exemple: alimentació de xapes o peces semielaborades en línies d'estampació o de premses.

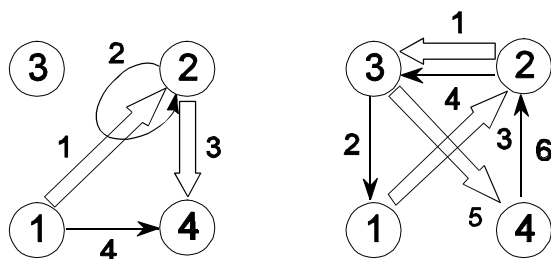
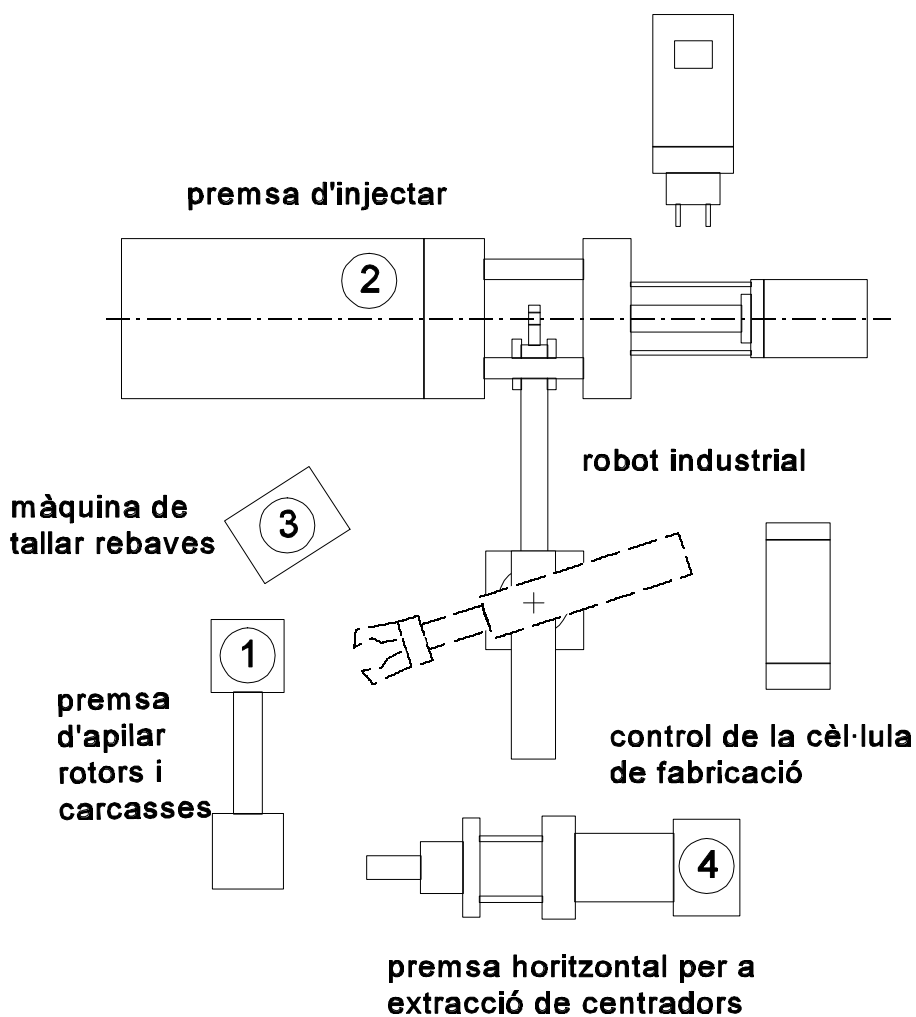
Descàrrega de màquines. El material o la peça arriben a la màquina per algun procediment automatitzat independent del robot industrial, mentre aquest és utilitzat en la descàrrega. Exemple: descàrrega de les peces en la injecció d'alumini o en la injecció de plàstic. Els sistemes d'extracció han d'estar dotats, sovint, de capacitats de força per a l'extracció.

Emmotllament per injecció de metalls. Procés de conformació per fosa en què un metall (generalment de punt de fusió baix, com l'alumini o el magnesi) és introduït a pressió dintre del motlle. Quan el metall s'ha refredat i solidificat suficientment, s'obre el motlle i s'extreu la peça. La cadència de la premsa d'injecció està compresa entre 10 i 60 segons, en funció de les dimensions i del tipus de peça.

La descàrrega de la peça en premses d'injecció va ser la primera aplicació d'un robot industrial, realitzada per Ford l'any 1961. El cicle pot incloure operacions complementàries, com són el refredament de la peça i l'eliminació de rebaves i excedents de material. La figura 5.24 mostra una cèl·lula robotitzada d'injecció d'alumini.

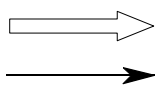
Emmotllament per injecció de termoplàstics. Procés molt freqüent de conformació de termoplàstics, consistent en l'escalfament del material granulat en brut fins que esdevingui plàstic (de 200 a 300° segons els materials) i la introducció a pressió dintre del motlle per mitjà d'una màquina d'injecció de plàstics. Quan s'ha refredat suficientment i la peça ha adquirit consistència, s'obre el motlle i s'extreu la peça.

El robot industrial s'aplica a la descàrrega de la màquina, operació que no presenta grans requeriments, que ha donat lloc al desenvolupament de robots industrials de baix cost. Cal tenir cura, però, en el disseny de la pinça per facilitar l'accessibilitat, i evitar el dany a la peça. Tot i que el temps de refredament és generalment més llarg que el d'extracció, no és fàcil aprofitar el robot en operacions complementàries, com ara l'eliminació de rebaves i sobrants o la inspecció, ja que resulten ser relativament complexes.



cicle de fabricació de rotors

cicle de fabricació de carcasses



moviments amb càrrega

moviments sense càrrega

Cèl·lula robotitzada d'emmotllament per injecció de rotors i carcasses d'alumini de motors elèctrics asíncrons

Figura 5.24

5.4 Soldadura per punts

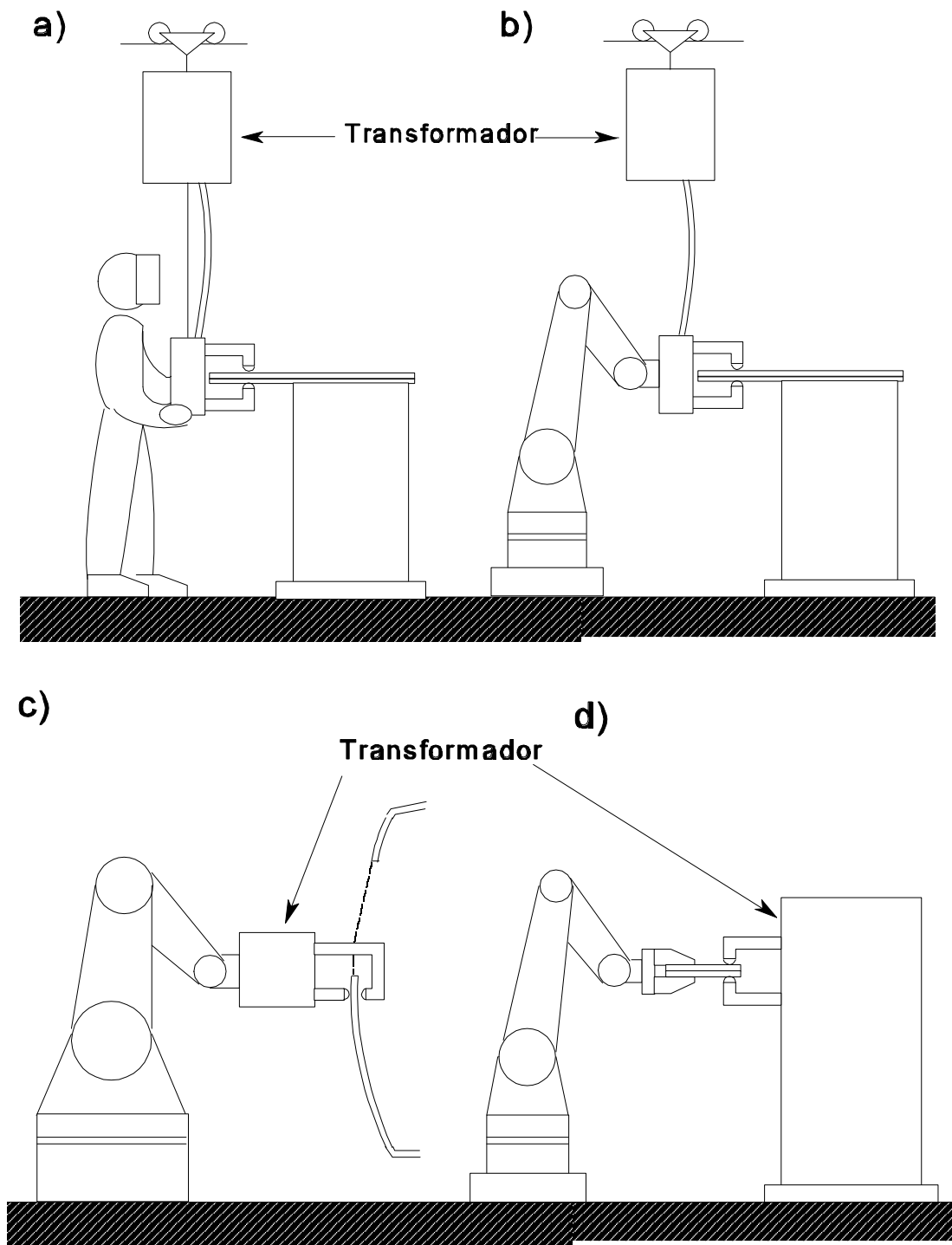
Procés

Consisteix en la soldadura de dues làmines de metall, sense material d'aportació, mitjançant la fusió local (els punts) causada per l'efecte Joule d'un corrent elèctric de gran intensitat que travessa les làmines o xapes (Fig. 5.41). Les principals fases del procés de la soldadura per punts són:

a) Primer, es posiciona el punt de referència de la pinça en el lloc on es vol realitzar el punt; *b)* Després, s'estrenyen l'una contra l'altra les dues xapes que cal soldar, per assegurar el contacte elèctric i la pressió de soldadura; *c)* Durant un temps molt breu, es connecta una tensió baixa (de pocs volts) que provoca un corrent de gran intensitat. L'intens efecte Joule produeix una fusió localitzada de les xapes de metall; *c)* Finalment, cal esperar un breu instant perquè la zona soldada se solidifiqui (els dits de la pinça duen un sistema de refrigeració per aigua) i s'obre la pinça. El temps de realització d'un punt és inferior a un segon.

Aquesta operació s'havia realitzat tradicionalment amb una pinça de soldadura manipulada directament per un operador humà, treball que resultava pesat i monòton, a més de ser susceptible de múltiples errors (oblit de punts, punts mal situats, etc.). Tanmateix, el gran volum de soldadura per punts que exigeix el "cosit" de les carrosseries a la indústria de l'automòbil va fer que molt aviat es busquessin solucions per a la seva automatització. Així, doncs, l'any 1969 la General Motors va instal·lar els primers robots de soldadura per punts. Avui dia és una de les aplicacions dels robots industrials que ha tingut una difusió més gran, tant a la indústria de l'automòbil, com en d'altres indústries (fabricació d'electrodomèstics, construcció de mobles metàl·lics, etc.).

La figura 5.25 mostra les diferents etapes de l'aplicació de la soldadura per punts. En el treball manual, el transformador (element pesat i voluminós de l'equip) se situava penjat del sostre. Els primers robots industrials de soldadura per punts van "imitar" aquesta disposició, però el cable donava lloc a una rigidesa excessiva, per la qual cosa es va optar per col·locar el transformador en el terminal junt a la pinça. Avui dia, s'ha iniciat un nou canvi d'estratègia en què es manipula la peça sempre que sigui possible, mentre que la màquina de soldadura per punts resta fixa.

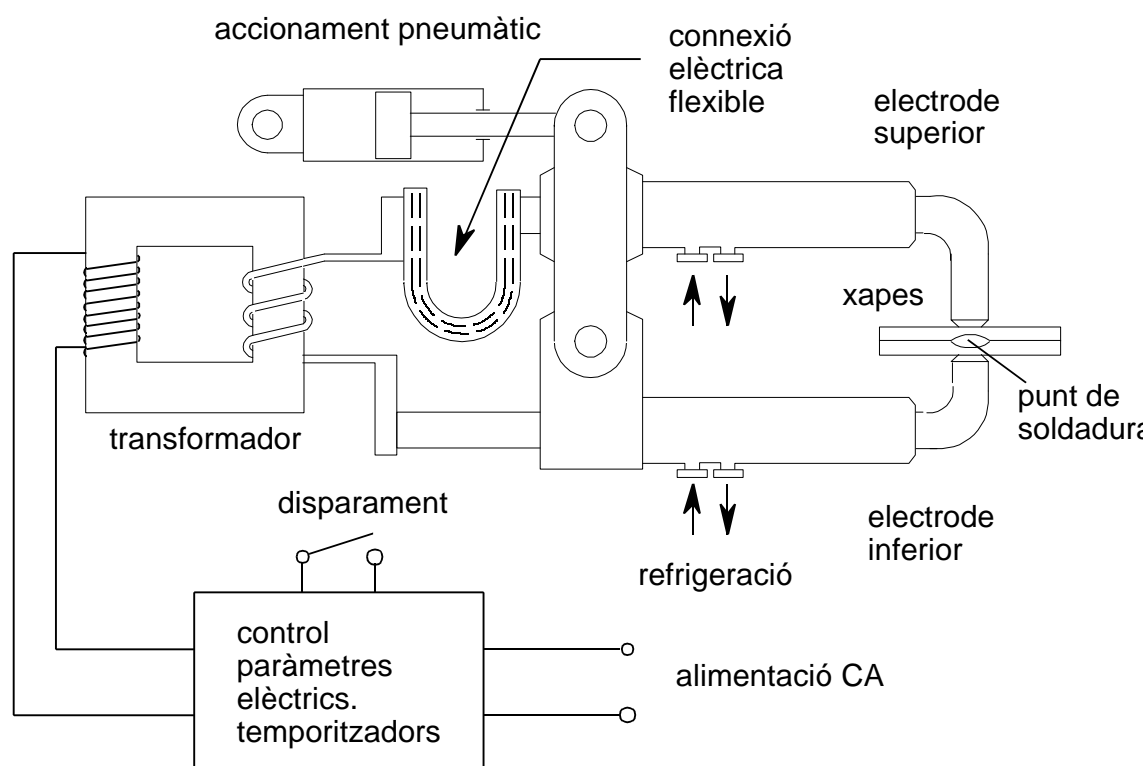


Diferents etapes de la soldadura per punts: *a)* soldadura per punts manual; *b)* primera automatització de la soldadura per punts amb robot; *c)* solució actual de la soldadura per punts; *d)* darrera tendència: quan la peça és manipulable, fer fixa la màquina de soldadura per punts.

Figura 5.25

Terminal i equip complementari

L'equip de la soldadura per punts inclou, doncs, a més de la *pinça de soldadura per punts* pròpiament dita, l'accionament de la pinça (generalment pneumàtic), el transformador, els conductors entre el secundari del transformador i els electrodes (necessàriament gruixuts i rígids), i un sistema de refrigeració, generalment per aigua (Fig. 5.26). Si s'agrupa tot aquest equip en el terminal, dóna lloc a un conjunt pesant i voluminós.



Terminal i equip de soldadura per punts

Figura 5.26

Característiques del robot

És convenient que el robot de soldadura per punts reuneixi el següent conjunt de característiques:

Estructura mecànica. Teòricament, l'aplicació exigeix un grau de mobilitat 5 (el punt té simetria radial). En algunes aplicacions, amb punts tots en un mateix pla, n'hi ha prou amb un robot de grau de mobilitat 3 o 4), però necessitats d'accessibilitat (especialment en carrosseries d'automòbil) recomanen la utilització d'estructures articulades de mobilitat més gran (6 i, de vegades, 7 i més en funció d'eixos suplementaris). En la seva configuració més estesa, en què el terminal inclou el transformador, cal un robot d'estructura robusta, amb una càrrega nominal superior a 50 kg. La repetibilitat ha de ser moderadament bona. L'espai de treball ha de ser adequat a la tasca realitzada, i les velocitats i acceleracions convé que siguin altes.

Programació i control. En general els robots de soldadura per punts es programen per guiatge per mitjà de la cònsola de guiatge. La memòria del programador ha de tenir una capacitat suficient per a acumular, no tan sols el gran nombre de punts que comporten moltes de les aplicacions, sinó un canvi freqüent de programa corresponent a variants del producte. La soldadura per punts és una aplicació típica del *control posa a posa*.

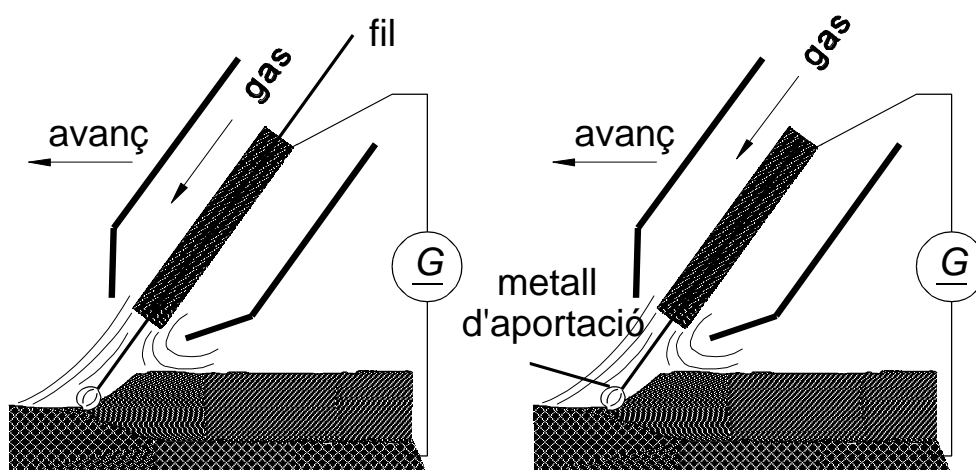
5.5 Soldadura per arc

Procés

Consisteix en la formació d'una costura d'unió contínua gràcies a la fusió dels materials a causa de la temperatura generada per un arc elèctric. L'arc, que salta entre l'*electrode* unit al terminal i la peça metàl·lica que es vol soldar, és creat per una tensió baixa (inferior a 30 V) i comporta corrents elevats (superiors a 100 A).

La soldadura per arc més difosa és la que utilitza electrodes revestits (el revestiment proporciona la protecció per evitar l'oxidació durant la soldadura), de consistència rígida, que tenen una longitud entre 200 i 300 mm. En el procés es consumeixen ràpidament i han de ser renovats, cosa que no representa un inconvenient greu quan la tasca es realitza manualment. En la robotització de la soldadura per arc s'han difós, doncs, les soldadures per fil continu, ja que d'aquesta manera s'evita la interrupció del procés per canviar l'electrode.

El fil continu és flexible i no té revestiment protector. Per resoldre aquesta qüestió en la soldadura a l'arc per fil continu, es crea un raig d'un gas protector al voltant de l'electrode en la zona de fusió: si el gas és inert (Ar, He) s'anomena soldadura per arc MIG (*metal inert gaz*), mentre que si és CO_2 s'anomena soldadura per arc MAG (*metal active gaz*).



a) Soldadura per arc MIG/MAG b) Soldadura per arc TIG

Figura 5.27

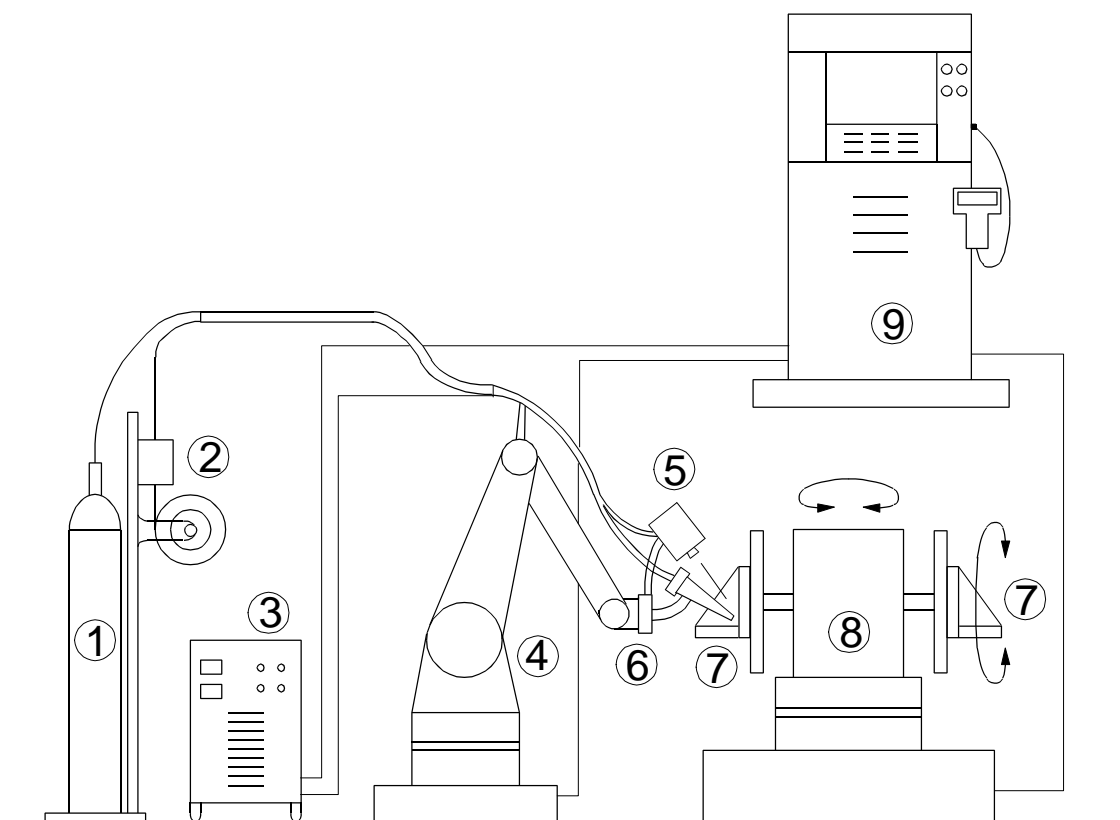
La soldadura per arc exigeix una bona precisió en la distància entre l'electrode i la peça, condició que, a la soldadura feta a mà, és assegurada per l'habilitat de l'operari. A la soldadura per arc realitzada per un robot, les irregularitats han de ser compensades per un dels dos mètodes següents: a) assegurant que les peces s'ajustin a toleràncies molt estretes (encareix les operacions anteriors); b) dotant el sistema robòtic de sensors per mesurar aquestes variacions i permetre la correcció de la trajectòria.

Entre els sistemes de sensors més utilitzats, hi ha els següents: b1) *sensor de contacte*, que va fent un moviment oscil·latori per a detectar els dos costats de la soldadura; b2) *sensor per arc*, que es basa en la mesura de característiques del mateix arc (el robot es programa perquè el terminal vagi fent una oscil·lació entre els dos costats de la soldadura); b3) *sensors basats en la visió*, en què hi ha una càmera situada prop de la torxa de soldadura i explora el camí que haurà de seguir el cordó (avui dia existeixen *sensors per làser* que, per mitjà d'una oscil·lació lateral del raig, realitzen una mesura òptica tridimensional)

Terminal i equip complementari

L'equip de la soldadura per arc inclou, doncs, a més de la *torxa de soldadura per arc* pròpiament dita, la bobina i el sistema d'impulsió del fil, l'equip de soldadura, el sistema d'alimentació del gas protector i, eventualment, el sistema de seguiment de la unió (Fig. 5.28).

En general, la necessitat d'alimentació de l'estació de treball, així com problemes d'accessibilitat, fan recomanable la utilització d'una taula posicionadora que, a més d'oferir dos, o més, punts de subjecció de la peça (l'estació de treball i l'estació de càrrega i descàrrega), faciliten 1 o més eixos de mobilitat complementària.



- 1 Bombona de gas; 2 Bobina i impulsó del fil; 3 Equip de soldadura;
 4 Robot de soldadura per arc; 5 Càmera de seguiment de la costura;
 6 Torxa de soldadura per arc; 7 Peça soldada; 8 Taula posicionadora;
 9 Unitat de control

Figura 5.28

Característiques del robot

És convenient que el robot de soldadura per arc reuneixi les característiques següents:

Estructura mecànica. Teòricament es necessita un grau de mobilitat 5 per a aquesta tasca (simetria radial), però els problemes d'accessibilitat fan que s'utilitzin robots amb grau de mobilitat 6. A més, freqüent-ment, es complementa amb una *taula posicionadora*, que afegeix 1 o més eixos al sistema. L'estructura articulada del robot pot ser relativament lleugera, ja que l'eina pesa poc. L'espai de treball s'ha d'adequar a la dimensió de la peça que cal soldar. És convenient que la repetibilitat i precisió de trajectòria siguin bones. No és necessari que la velocitat sigui gaire elevada.

Programació i control. En general els robots de soldadura per arc es programen per guiatge tot fent recórrer al terminal la trajectòria que després haurà de recórrer. Per a trams de soldadura rectes, és bo de disposar de sistemes d'interpolació, amb la qual cosa n'hi ha prou de marcar els punts inicial i final. Com s'ha comentat, algunes aplicacions requereixen un moviment oscil·latori del puny per controlar l'arc, moviments que poden ser programats pel mateix sistema. El robot ha de tenir un *control per trajectòria contínua*, amb un control precís de la velocitat d'avanç. La unitat de control del robot industrial sovint controla també l'equip de soldadura, l'avanç del fil i els moviments de la taula posicionadora, tot i que aquestes missions també poden estar encomanades a un controlador extern.

5.6 Pintura per projecció

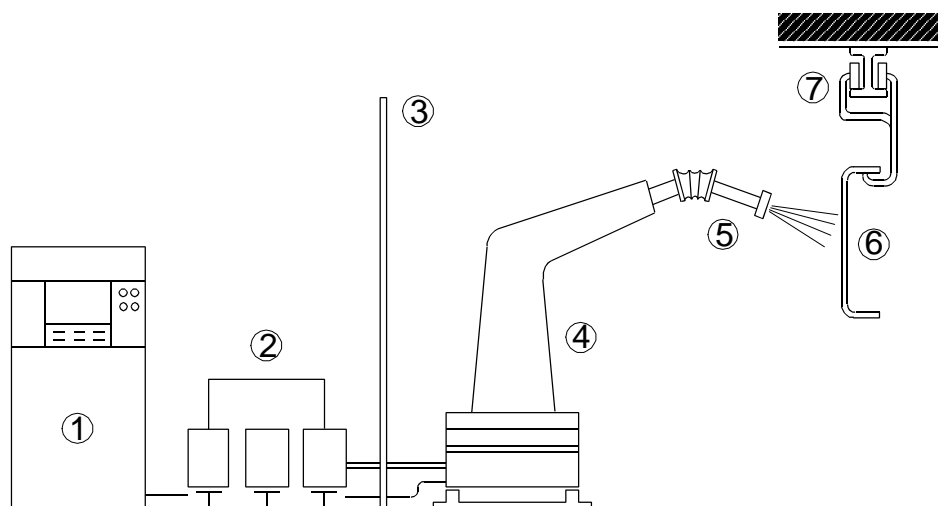
Procés

Consisteix en un recobriment per projecció en què l'eina, la pistola de pintura, és guiada per un robot industrial. Aquests treballs realitzats per operaris humans són feixucs i resulten perillosos per a la salut (atmosfera viciada, vestits especials, màscares de respiració, soroll agut de la pistola; obliguen a fer la instal·lació de cabines aïllades amb sistemes de ventilació). A més, una instal·lació de pintura sempre revesteix risc de foc.

Per tant, la pintura per recobriment va essent progressivament automatitzada per mitjà de robots industrials. En la forma més habitual de treballar hi ha una cadena que condueix lentament les peces i un o més robots que guien la *pistola de pintar* la qual evoluciona davant de la peça. En general, el procés es manté aïllat en una cabina o túnel.

Terminal i equip complementari

El terminal és la *pistola de pintar*, constituïda fonamentalment per una tovera per on flueix la pintura a pressió la qual és pulveritzada a la sortida a causa de la disminució sobtada de la pressió. L'equip complementari està constituït pels dipòsits de pintura, sistemes de dosificació, bomba d'impulsió de la pintura, dispositius de neteja quan hi ha canvi de pintura, etc. Hi ha paràmetres del procés, com, per exemple, la connexió/desconnexió de la pistola, la pressió del fluid, eventualment pressió de l'aire injectat, etc., que han de ser controlats des del sistema de control del robot.



1 Unitat de control; 2 Equip de pintura; 3 Protecció de la cabina de pintura; 4 Robot de pintura; 5 Pistola de pintar;
6 Peça pintada; 7 Cadena de pintura

Figura 5.29

Característiques del robot

És convenient que el robot de pintura per projecció reuneixi les característiques següents:

Estructura mecànica. Teòricament, la tasca de pintura requereix un grau de mobilitat 5 (simetria radial de la projecció); tanmateix, acostumen a tenir 6 i més eixos per millorar l'accessibilitat. La seva estructura pot ser lleugera, ja que l'eina pesa poc (menys de 10 kg), però ha de tenir una gran mobilitat (especialment en el puny) per reproduir amb facilitat els moviments de l'operari humà. L'espai de treball convé que sigui de grans dimensions i centrat davant del robot. No cal una bona precisió ni repetibilitat, però són convenients velocitats elevades.

Els robots de pintura treballen en un ambient inflamable i, per tant, s'ha preferit l'accionament hidràulic a l'elèctric (també pels moviments ràpids, però poc precisos dels primers); per evitar explosions, es fa circular aire de l'interior de l'estructura mecànica (que conté els motors) vers l'exterior. Amb el desenvolupament de nous motors elèctrics sense escobretes (sense perill d'espurnes) amb prestacions millorades, s'han construït els primers robots de pintura elèctrics.

Programació i control. La pintura per projecció té un component important de destresa que difícilment pot ser programat si no és per mitjà del guiatge manual per un operador experimentat. Això demana poder posar l'estructura del robot en una situació de "mà morta" (equilibrada, però sense oferir resistència). Una possibilitat en robots de pintura és l'ús d'un *maniquí* (rèplica de l'estructura més lleugera i no motoritzada) que, a més de facilitar la tasca de programació, permet realitzar aquesta tasca fora de línia.

La unitat de control ha de realitzar un *control de trajectòria contínua*, amb control de la velocitat. Això comporta una capacitat d'emmagatzematge de dades important, augmentada pels freqüents canvis de programa corresponents a peces diferents.

El sistema de control, per mitjà del programa, ha de realitzar algunes funcions de control del procés, com són el cabal de pintura, la pressió del fluid i la connexió o desconnexió de la pistola de pintar.

Un requisit per a un bon acabat del procés de pintura és mantenir la pistola de pintar neta. Aquesta operació, que consisteix en col·locar l'eina sota uns raigs de disolvent que netegen les toberes, ha de programar-se intermitentment.

5.7 Altres operacions de procés

A les seccions anteriors s'han analitzat les tres aplicacions més consolidades dels robots industrials en operacions de procés: *soldadura per punts* (un 10% dels robots instal·lats al món, i a Espanya, on la indústria de l'auto-mòbil té un pes molt gran, més d'un 30%), *soldadura per arc* (quasi un 17% dels robots del món i prop d'un 25% a Espanya) i *pintura per projecció* (un 2% en el món, i prop d'un 3% a Espanya). El conjunt d'aquestes aplicacions ocupa, doncs, un 30% de parc mundial de robots i un 60% del parc espanyol de robots.

Tanmateix, són molt nombroses les aplicacions dels robots industrials a altres operacions de procés i algunes han anat consolidant una tecnologia pròpia. Entre aquestes val la pena destacar:

Aplicació de segelladors i d'adhesius. Procés que consisteix a formar un cordó de material segellador, o d'adhesiu, sobre un perfil d'un objecte (càrter, parabrises, etc.). En general, l'aplicació es fa a favor de la gravetat i, per tant, l'estructura del robot és senzilla (cartesià, Scara, etc.); és necessari un control de la trajectòria contínua i la coordinació de la dosificació del material amb la velocitat d'avanç.

Desbarbament, poliment i altres operacions d'acabament. En general, el robot industrial guia una eina motoritzada, però també pot treballar a la inversa, això és, manipulant la peça contra l'eina. Quan l'eina és rígida, cal o bé muntar-la de forma que floti o bé utilitzar un sensor de força en el puny per fer les correccions corresponents.

Perforació, roscatge i altres operacions de mecanització. Com en el cas anterior, el robot pot manipular l'eina o la peça. Per a la perforació el puny ha d'exercir una força que és bo controlar, i cal una bona precisió i una bona repetibilitat. En el roscatge, un cop posicionada inicialment l'eina, cal sincronitzar el moviment de gir i el d'avanç.

Tall per làser i per raig d'aigua. El principi de tall és diferent en els dos casos (làser de gran potència, en el primer cas, i raig d'aigua a al·tíssima pressió, en el segon), però el procés és molt semblant en els dos casos, en què el robot manipula el capçal amb l'eina. Generalment l'operació s'executa en dues dimensions, per la qual cosa es pot dubtar de l'eficàcia d'utilitzar un robot per a aquesta tasca.

5.8 Muntatge i inspecció

Tant les tasques de *muntatge* com les d'*inspecció* han ocupat tradicionalment un volum molt important de mà d'obra, i comporten operacions que demanen una gran flexibilitat i una gran capacitat d'adaptació. A la majoria de processos de fabricació manufacturats, les deficiències de disseny, els defectes de fabricació i altres incorreccions es van acumulant fins a arribar al muntatge, on la destresa humana les resol i proporciona un producte de funcionament apte. El *muntatge* i la *inspecció* constitueixen, doncs, la confirmació de la bondat de tot el procés de fabricació anterior i les empreses asseguren la qualitat del seu producte per mitjà d'aquestes tasques. Per tant, és una etapa de la fabricació determinant.

Els costos de mà d'obra de *muntatge* i d'*inspecció* han anat esdevenint cada cop proporcionalment més grans dintre del procés productiu (poden representar entre un 30 i un 50% del cost del producte), per la qual cosa darrerament s'han concentrat esforços importants per automatitzar-ne les tasques, avui dia sota un criteri de flexibilitat. El primer intent ha consistit a reproduir les tasques realitzades manualment, però les dificultats trobades han conduït els esforços en una altra direcció: el redisseny del producte i la simplificació al màxim de les tasques de *muntatge* i *inspecció*.

A continuació s'analitzen breument les característiques d'aquests dos processos, així com l'aplicació que s'hi fa dels robots industrials.

Muntatge

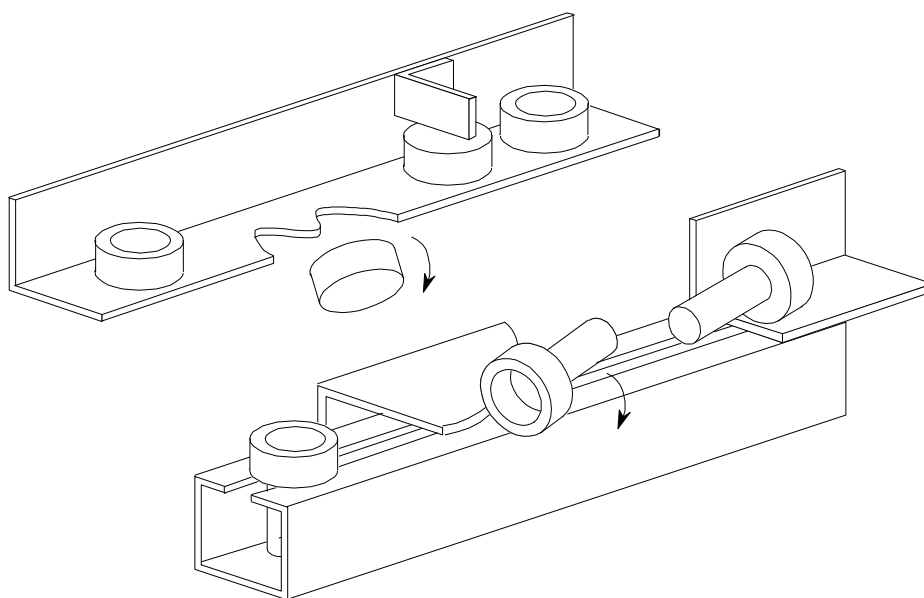
Procés

Consisteix en la col·locació relativa de diverses peces i en la seva fixació de manera que constitueixin un conjunt més complex que realitzi una funció determinada; per tant, implica un augment del valor afegit del conjunt respecte a les seves parts. El *muntatge* va més enllà de la *manipulació*, en exigir la interacció de peces entre elles i amb elements circumdants.

Les tasques principals que comporta un procés de muntatge automatitzat són les que es descriuen a continuació:

a) *Alimentació de peces i components.* Per a un funcionament correcte del procés de muntatge, les peces i els components que han de formar el conjunt han de ser alimentades de forma ordenada i orientada, a fi que el sistema les pugui prendre correctament amb facilitat. Les formes principals d'alimentació de peces i components són:

Recipients vibratoris. Són contenidors de peces petites, que inicialment es troben en situació desordenada; gràcies a un moviment vibratori, les peces van avançant per unes rampes fins al punt d'alimentació. En aquestes rampes se situen elements de decantació que obliguen les peces a orientar-se correctament, o bé les fan caure altre cop al recipient (Fig. 5.30).



Alimentadors de recipient vibratori amb elements de decantació

Figura 5.30

Subministrament amb suport. Alguns components electrònics se subministren amb una cinta de suport que uneix ordenadament una sèrie d'elements iguals; algunes peces de plàstic poden estar unides per l'excedent de material del procés d'injecció. Aquests elements i peces no seran tretts del seu suport fins al moment de muntatge.

Bandes transportadores. Les peces avancen sobre una banda transportadora orientades per l'etapa de manipulació anterior.

Palets. Són contenidors compartimentats, o amb suports, on es col·loquen de forma ordenada un determinat nombre de peces iguals. L'alimentació a partir d'un palet comporta una despaleització (Sec. 5.3).

b) *Operacions de muntatge.* Són aquelles que contribueixen directament a la formació del conjunt. Hi ha les següents:

Juxtaposició de peces i components. Consisteix en la situació de diverses peces i components en les posicions relatives adequades i, generalment, és una fase anterior a la fixació

Inserció. Consisteix en la introducció d'un element mascle en un element femella de la mateixa forma amb toleràncies estretes. Per facilitar la inserció calen determinats moviments per salvar errors de paral·lelisme o d'alineació (*acomodació*); això es pot obtenir per mitjà d'un mecanisme que reaccioni passivament a les forces generades en el procés d'inserció (*acomodació passiva*; vegeu Fig. 5.31), o bé mesurar les forces i moments en el puny mitjançant un sensor i generar les accions de correcció corresponents (*acomodació activa*).

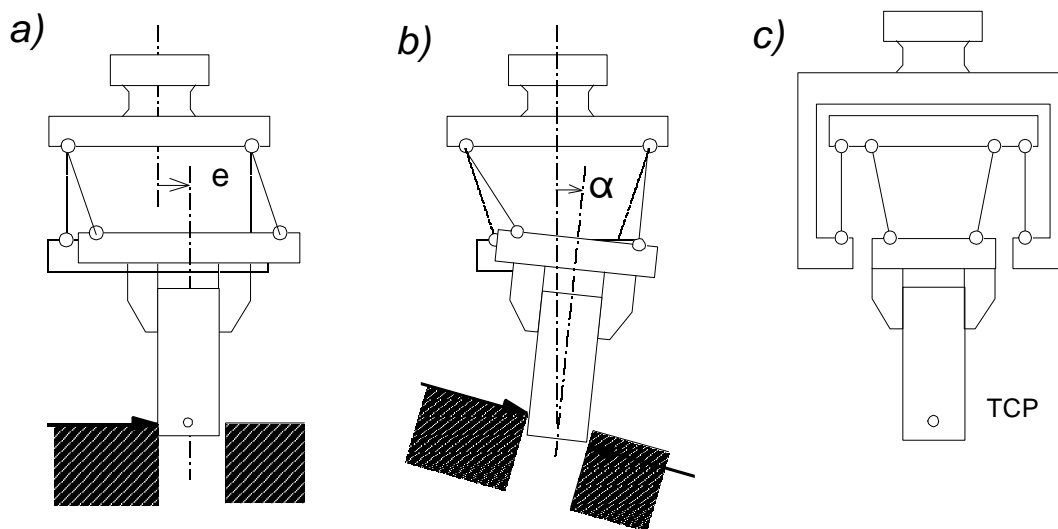
c) *Operacions de fixació.* Són totes aquelles operacions destinades a fixar els elements i components entre si. Les principals són:

Unions cargolades reblonades. Operacions de fixació clàssiques en el muntatge manual. Malgrat que s'han desenvolupat eines específiques per a la seva automatització, tendeixen a ser eliminades pel temps que comporten (Fig. 5.32).

Engalletament. Unions formades per elements elàstics en forma de pla inclinat que, gràcies a una simple força, entren en un sentit, però queden retingudes en el sentit contrari. Tendeixen a substituir les unions cargolades i reblonades.

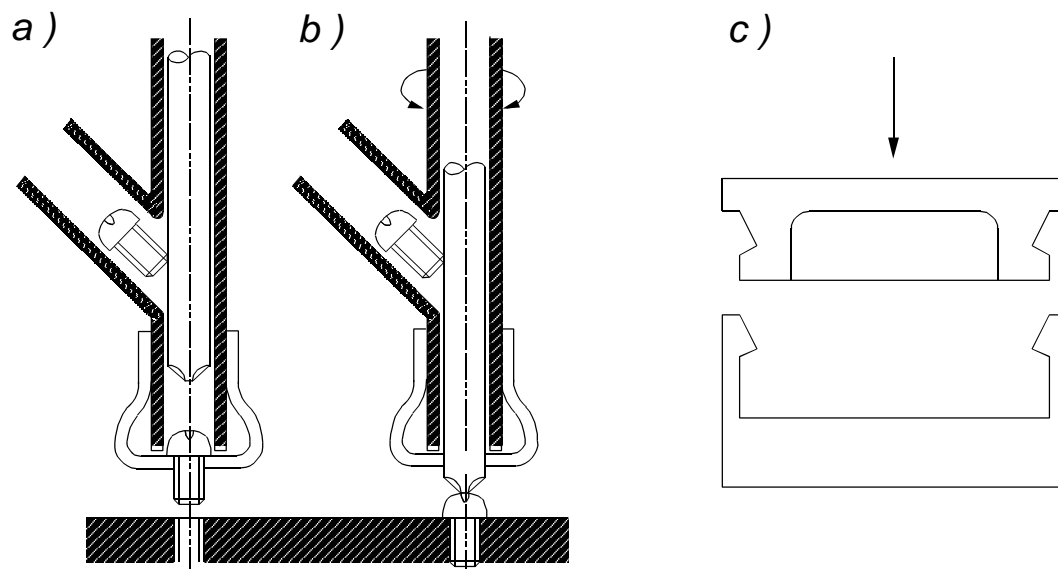
Engrapament. Unions formades per la deformació plàstica d'alguns elements que n'empresonen d'altres. En general es realitza en màquines especials, ja que exigeix una força excessiva per al robot.

Soldadura, adhesius. Unions formades com a tancament o compleció en la formació d'un conjunt. Són procediments relativament freqüents en sistemes de muntatge amb robots.



Dispositiu d'acomodació de centre remot (RCC, *remote centre compliance device*);
 a) Amb acomodació lateral; b) Amb acomodació angular; c) Amb les dues

Figura 5.31



a) i b) Eina automàtica per carregar; c) Sistema d'engatellament

Figura 5.32

Característiques dels robots

Estructura articulada. Hi ha tres configuracions especialment aptes per a les tasques de muntatge:

Robot Scara. Estructura de 4 eixos especialment concebuda per facilitar la inserció vertical de peces amb gran precisió i rapidesa. S'adapta bé a la fabricació en grans sèries.

Robot cartesià. Estructura de 4 o, com a màxim, 5 eixos, amb una bona precisió, una calibratge fàcil i algorismes de control simples. Acceleracions limitades a causa de les importants masses que mou.

Robot pendular. Estructura esfèrica suportada per una articulació Cardan, amb l'eix de translació que es mou al voltant d'una direcció vertical. Combina una accessibilitat excel·lent (puny de tres eixos) amb una bona precisió i una alta velocitat.

Programació i control. Els muntatges per juxtaposició es poden basar en un sistema de programació i control senzill; quan hi ha sistemes d'acomodació, especialment si és activa, la unitat de control ha de poder fer control de força, o control híbrid desplaçament-força.

L'aplicació de robots industrials a l'automatització de tasques de muntatge comporta, en general, una reconsideració del disseny i del procés.

Inspecció

La inspecció és una operació de control de qualitat que, per mitjà de mesuraments o de comprovacions, determina si hi ha conformitat amb les especificacions prèviament establertes. En automatitzar la inspecció, algunes peces o característiques poden ser inspeccionades al 100%.

En la inspecció, el robot industrial pot actuar o bé manipulant la peça, o bé l'eina de mesurament o de comprovació. La visió artificial és, cada vegada, un suport més gran en aquestes tasques.

6 Implantació i estudi de casos

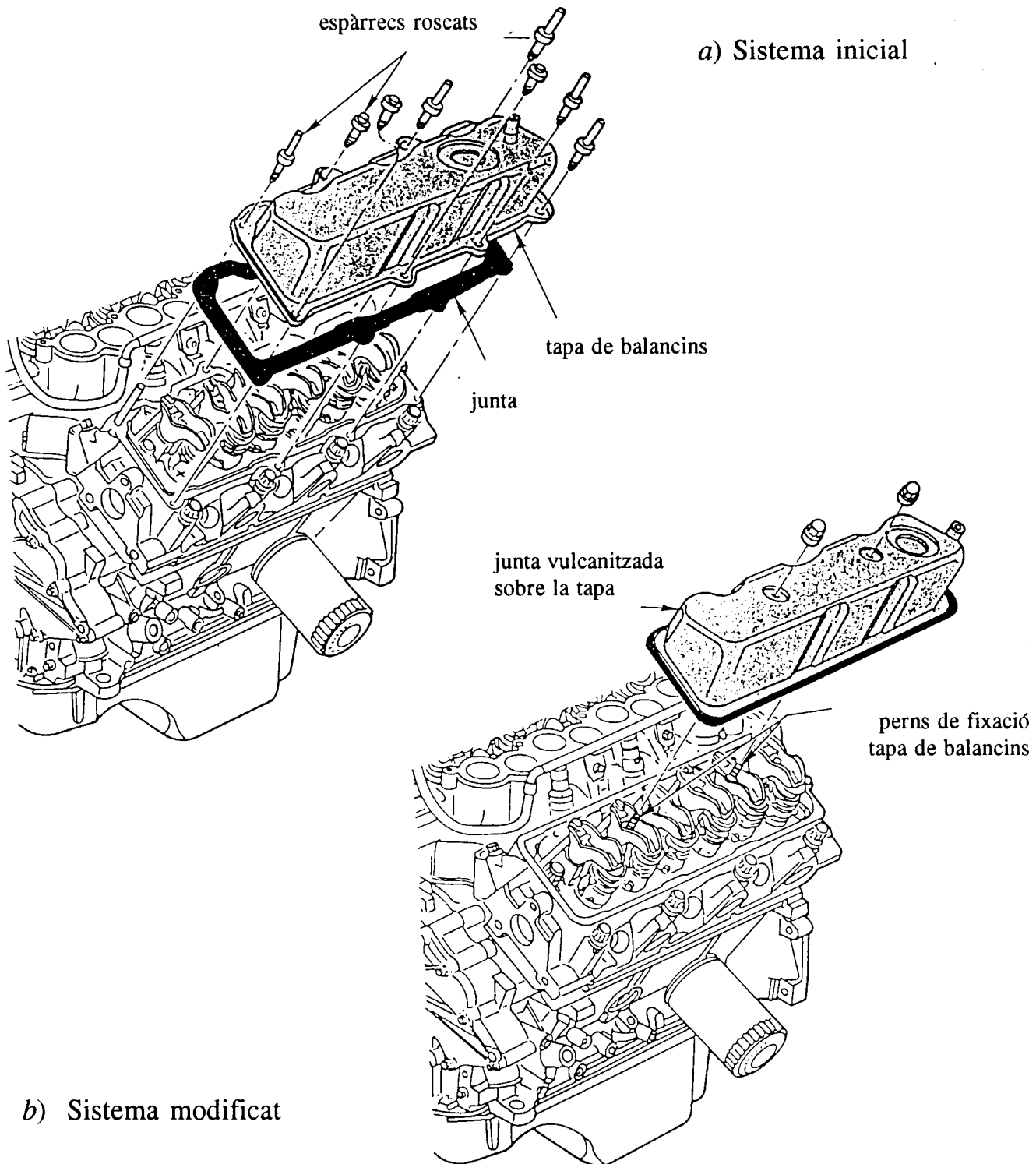
6.1 Selecció d'aplicacions

El primer impuls en dissenyar l'aplicació d'un robot industrial en un procés productiu és simplement el de substituir la tasca que realitza un operari. Però aquest no acostuma a ser el camí més adequat, tal com es veurà a les planes que segueixen.

En efecte, l'*home* posseeix una gran intel·ligència i un potent sistema sensorial que confereixen al seu treball una gran destresa i versatilitat, però la seva activitat es veu sotmesa a la fatiga física i a l'avorriment, factors que poden ser motiu d'errors i d'accidents. Per contra, el *robot industrial* és enormement limitat amb referència al sistema sensorial i a la intel·ligència, però en canvi és molt més repetitiu en els moviments i les tasques, malgrat que les seqüències siguin llargues, i no presenta cansament.

Dos exemples. El robot industrial necessita un sistema d'alimentació amb una entrada i una sortida de peces; si no es preveu correctament, es produeix una distorsió permanent de tot el procés productiu. Un altre aspecte que s'ha de tenir en compte és el nivell de precisió de les peces. En una fabricació i en un muntatge manuals, els operaris ajusten les faltes de precisió i els errors, mentre que el robot industrial atura el procés.

Per tant, a fi d'aprofitar les noves possibilitats dels robots, tot evitant els seus inconvenients i limitacions, és recomanable la reconsideració tant del disseny del producte com de les característiques del procés de fabricació. La figura 6.1 mostra un canvi recent del disseny del producte (la tapa de balancins d'un motor d'explosió) i del procés, realitzat per l'empresa Ford, pensat especialment per facilitar l'automatització en el muntatge.



Reconsideració del disseny d'una tapa de balancins d'un motor d'explosió
Objectiu: facilitar l'automatització del muntatge

Figura 6.1

A continuació es descriu una seqüència lògica dels passos que cal recórrer en la implantació d'un sistema d'automatització que inclogui robots industrials:

Familiarització inicial amb la tecnologia. Aquest és un aspecte important que implica dedicació i formació. L'aplicació anterior de sistemes de control numèric, o d'autòmats programables, facilita la introducció.

Revisió de productes i de processos. Aquesta revisió permetrà analitzar l'interès d'automatitzar determinades tasques (productes amb moltes variants, feines feixugues o de risc, tasques molt repetitives, tasques de 3 torns, etc.).

Selecció de l'aplicació. Aquesta és la fase decisiva, l'encert de la qual determinarà l'èxit posterior de la implantació. En aquesta fase s'ha de decidir el robot industrial i tot l'equip perirobòtic.

Anàlisi econòmica i presa de decisió. Convé fer una avaluació global reallista dels costos que tindrà l'operació i del termini d'amortització. Avui dia existeixen suficients precedents d'aplicació perquè els errors d'avaluació puguin ser limitats.

Planificació de l'enginyeria de la instal·lació. Disseny de la cèl·lula de fabricació, amb la instal·lació i els serveis annexos. Simulació del seu comportament. Previsió de canvis organitzatius. Modificacions en el disseny del producte, i en els processos de fabricació.

Instal·lació i posada en marxa. Adequació o implantació de subministraments i serveis. Implantació o trasllat de maquinària. Posada a punt i ajust del sistema, i primeres proves de funcionament.

6.2 Simulació gràfica

Com ja s'ha comentat a la secció 3, hi ha dues formes bàsiques de programar la tasca d'un robot industrial: *per guiatge* i *per llenguatge*. La primera és la més utilitzada avui dia en els robots implantats a la indústria, i la majoria de les vegades es realitza amb l'ajuda del mateix robot (*programació en línia*), prenent un temps que es detreu del de producció. Però també cada dia són més els robots que disposen dels dos tipus de llenguatge.

Quan la programació del robot respon a una tasca relativament repetitiva, sense bifurcacions, la programació per guiatge és adequada, però quan la tasca es realitza en el si d'una cèl·lula de fabricació més complexa, amb incidències que poden obligar a prendre decisions i a ajustar els cicles i els temps de treball, la programació per llenguatge pren tot el sentit.

La programació convencional per llenguatge resulta molt laboriosa, i tot fa pensar que el seu desenvolupament anirà associat a la simulació per mitjà de sistemes gràfics assistits per ordinador (CAE-Robòtica), com a nova interfície home-màquina més potent i amigable. Aquests sistemes, que van començar com una ajuda a la programació, han anat evolucionant i actual-ment ofereixen les funcions, les característiques i els avantatges següents:

a) Funcions dels sistemes de simulació gràfica:

- a1) Disseny de la cèl·lula de fabricació, i ajuda per a la disposició de les màquines, equips i utillatges
- a2) Programació de tasques (*fora de línia*)
- a3) Verificació per mitjà de la simulació dels moviments i de les operacions d'una tasca

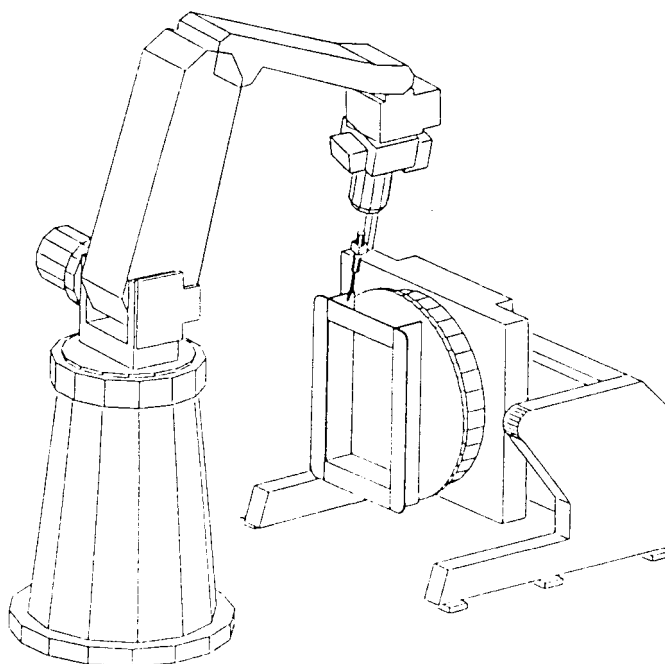
b) Característiques dels sistemes de simulació gràfica:

- b1) Modelització dels elements que intervenen en la cèl·lula (models de filferro, models de superfícies, models de sòlids); els models de filferro no permeten detectar col·lisions.
 - b1.1) Es poden incorporar els models de robots més habituals a partir de biblioteques preestablertes.
 - b1.2) L'establiment de connectivitats entre elements rígids, per mitjà d'un *arbre lògic de connectivitat*.
- b2) Definició de la tasca, amb els moviments, velocitats, instruccions de comunicació i relacions amb altres elements de la cèl·lula. La definició de la tasca és independent del robot utilitzat.
 - b2.1) Es pot escriure el programa separatament per a cada dispositiu, en forma de subprogrames.
 - b2.2) Es pot generar, per mitjà d'un postprocessament, el programa de control del robot o d'altres dispositius de la cèl·lula en el llenguatge corresponent a cada un.

b3) Simulació gràfica dels moviments i seqüència d'operacions de la cèl·lula robotitzada corresponents a una tasca. Permet ajustar trajectòries, sincronitzar moviments, detectar col·lisions, estimar el temps del cicle de treball i analitzar diferents tipus d'incidències.

c) *Avantatges dels sistemes de simulació gràfica:*

- c1) La programació d'una tasca es realitza amb un llenguatge únic comú, obviant la gran diversitat de llenguatges de programació de cada un dels elements que intervenen en la cèl·lula.
- c2) El desenvolupament de programes *fora de línia* (sense usar el robot ni altres elements de la cèl·lula) fa molt més rendible les inversions realitzades, en disminuir molt els temps de posada a punt i augmentar el temps de disponibilitat de l'equip.
- c2) L'ús de sistemes de simulació gràfica constitueix una tècnica potent i efectiva per preparar i posar a punt programes de tasques de gran complexitat.



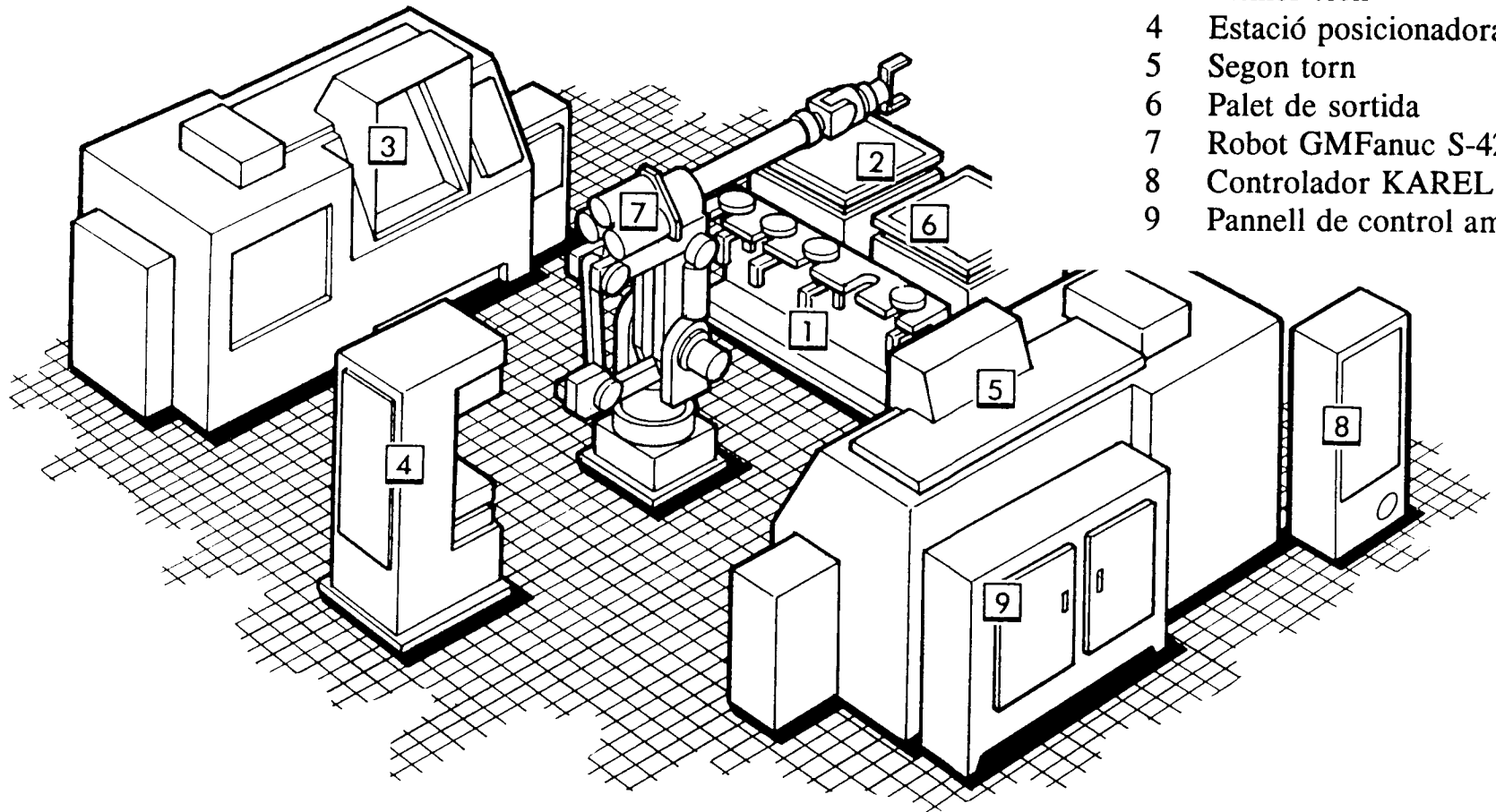
Modelització d'una aplicació de soldadura per arc realitzada amb el programa de simulació GRASP

Figura 6.2

Client	Consideracions sobre el disseny del sistema	Solucions adoptades per a un sistema integrat
<p>Empresa, líder en el seu camp, que fabrica vàlvules reductores de pressió destinades a les indústries del paper, química, petroquímica i altres d'anàlogues. La seva producció, que comprèn diversos models de vàlvules, és d'unes 7.500 unitats al mes.</p>	<p><i>Distribució en planta</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Falta d'espai * Dimensions dels equips * Canalitzacions de serveis <p><i>Característiques de les peces</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Més de 70 peces per cèl·lula * Des de diàmetres de 12 a 300 mm * Pesos des de 0,1 fins a 16 kg <p><i>Requeriments del cycle de temps</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Es requereix un canvi ràpid * Des de cada 2 fins a 16 minuts <p><i>Interfície entre màquines</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Diferents models de torns * Disseny de mordasses; * Senyals de les màquines <p><i>Flux del procés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Canvi de dimensions de les peces * Operacions per peça * Canvi de seqüència d'operacions * Cicles curts i llargs. Temps total <p><i>Facilitat d'operació</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Interfície de l'operador * Manteniment * Seguretat 	<p>4 cèl·lules similars: un robot S-420 serveix 2 torns, el magatzem d'eines, les estacions de palets i l'estació posicionadora.</p> <p>L'anàlisi de la gamma de peces determina les necessitats de manipulació, les pinces i els palets especials. La càrrega nominal del robot S-420 s'ajusta a la gamma.</p> <p>Una pinça doble facilita un canvi ràpid de peces a les màquines. El canvi automàtic de pinça proporciona flexibilitat i estalvia temps.</p> <p>Cada cèl·lula té un PLC per controlar els torns i l'obertura de portes. La interconnexió es realitza per mitjà d'E/S digitals. El disseny de la pinça facilita l'accés en els torns.</p> <p>Les pinces faciliten el canvi de dimensions. L'estació posicionadora programable assegura una premsió adequada de les peces per a la segona operació. Els programes KAREL governen la seqüència de la cèl·lula.</p> <p>Forma operatòria fàcil, gràcies al <i>software</i> de càrrega/descàrrega. Sistema complet de documentació sobre incidències i manteniment. Dispositiu de seguretat a les interfícies per a protecció contra xocs de la pinça. Sistema d'entrenament.</p>
<p>Enunciat de l'aplicació</p>		
<p>Fabricació de més de 280 components diferents de vàlvules reductores de pressió en 4 cèl·lules de mecanització. El cycle de treball és el següent:</p> <p>a) El robot S-420 pren una pinça adequada del magatzem d'eines, es dirigeix al palet d'entrada i pren una peça en brut.</p> <p>b) El robot es dirigeix al primer torn i, amb la segona pinça (pinça doble, no mostrada a la figura), retira la peça acabada i carrega la peça en brut.</p> <p>c) Les peces sotmeses a dues operacions requereixen que el robot les situï en l'estació posicionadora per assegurar una premsió i una orientació correctes.</p> <p>d) El robot carrega el segon torn, després de retirar la peça acabada, i col·loca la peça acabada en el palet de sortida.</p>		

Figura 6.3

Descripció de la cèl·lula



- 1 Magatzem de canvi d'eines
- 2 Palet d'entrada
- 3 Primer torn
- 4 Estació posicionadora
- 5 Segon torn
- 6 Palet de sortida
- 7 Robot GMFanuc S-420
- 8 Controlador KAREL
- 9 Pannell de control amb PLC

La reproducció d'aquesta documentació ha estat autoritzada per FANUC Robotics Ibérica S.L.

**Sistema robòtic de pintura
de frontals de xapa d'acer**
(Sistema no mostrat)

**Sistema robòtic de pintura
de cabines de furgonetes descobertes**
(sistema mostrat a la figura)

Client

General Motors, a la seva planta de Janesville, on es realitza la pintura dels frontals i de les cabines de tota la gamma de furgonetes descobertes.

Enunciat de l'aplicació

Es tracta de dues aplicacions de pintura per projecció mitjançant l'ús de sistemes robòtics: una, de pintura de frontals de xapa d'acer i, l'altra, de pintura de cabines de furgonetes descobertes (la que es mostra a la figura).

Algunes particularitats dels dos sistemes són:

- a) Quan el treball següent canvia de color de pintura, el sistema impulsa un corrent lleuger d'aire que deixa la línia amb un mínim de pintura quan s'ha acabat l'anterior tasca.
- b) Després de completar cada treball, i durant la transferència d'un conjunt al següent, el robot elimina les restes de pintura en el dispositiu de neteja de la pistola de pintar.

El sistema pinta 44,8 frontals per hora, per mitjà de 4 robots industrials GMF de sis eixos, amb una base mòbil que es desplaça linealment sobre un altre eix.

Els frontals són transportats per uns carrets i l'operador de la línia introdueix a la cònsola manual de control de la línia el tipus de pintura i el color desitjats.

En una àrea intermèdia, un segon operador verifica les dades del treball i, en cas d'haver-hi una incorrecció, té la possibilitat de corregir o canviar la informació.

Quan els frontals entren en l'estació robòtica, dos robots apliquen la primera capa de pintura. S'usen trajectòries simètriques per assegurar una distribució de la pintura uniforme en ambdós costats. Més endavant, dos robots més donen la segona capa de pintura.

És usat un setè eix cartesià a la base per realitzar el moviment de seguiment de la línia de carrets. Si el moviment de la línia de frontals canvia de velocitat o s'atura, un cop iniciada la pintura, el procés no s'atura fins a completar la tasca.

El sistema robòtic de pintura de cabines és capaç de pintar-ne 18 per hora, tant si són de dues com de quatre portes, corresponents a tota la gamma de furgonetes descapotables de General Motors.

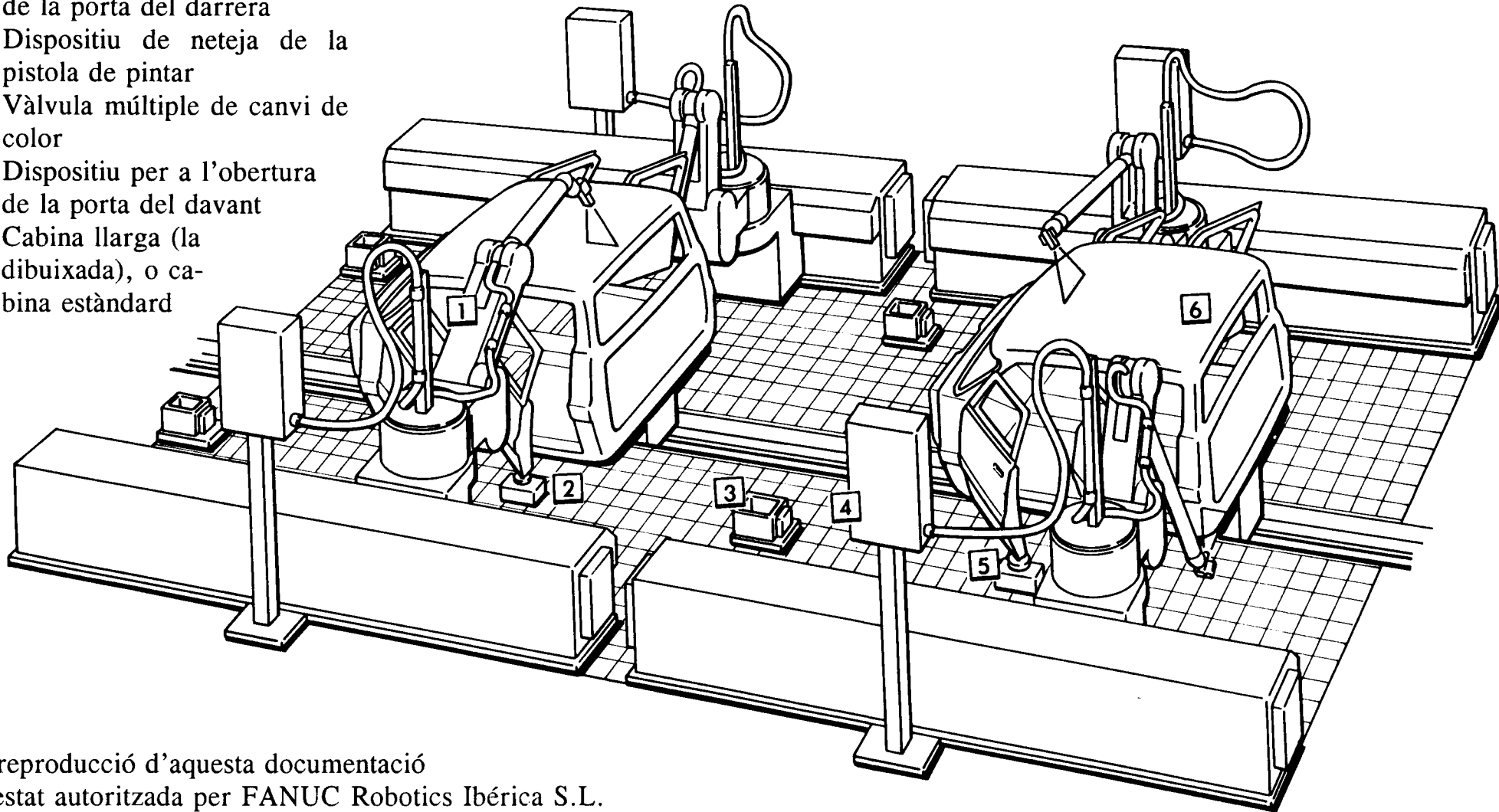
La informació sobre el tipus de pintura i el color que cal aplicar són introduïdes al sistema d'una forma anàloga a la del sistema robòtic de pintura de frontals. Les cabines entren a la línia muntades sobre uns carrets.

El sistema robòtic incorpora uns dispositius per a l'obertura de les portes, accionats pneumàticament, a fi de facilitar al robot l'accés a l'interior del vehicle.

Descripció de la cèl·lula

- 1 Robot industrial GMF P-150
- 2 Dispositiu per a l'obertura de la porta del darrera
- 3 Dispositiu de neteja de la pistola de pintar
- 4 Vàlvula múltiple de canvi de color
- 5 Dispositiu per a l'obertura de la porta del davant
- 6 Cabina llarga (la dibuixada), o cabina estàndard

Figura 6.4



La reproducció d'aquesta documentació
ha estat autoritzada per FANUC Robotics Ibèrica S.L.

Bibliografia

- AUDÍ PIERA, D. *Cómo y cuándo aplicar un robot industrial*. Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 1988.
- AUTOMATIZACIÓN INTEGRADA & REVISTA DE ROBÓTICA (núm. 68). "Parque de Robots 1991. Crecimiento moderado de las instalaciones de robots". PULSAR, Barcelona, maig de 1992.
- BLAS, M.; MATEU, M.R.; PICÓ, R.M.; RIBA, C. *Diccionari de robòtica industrial (Català / Castellà / Francès / Anglès)*. UPC, Barcelona, 1991.
- DEVIMEUX, J.P.; HOESSLER, B.; MUNIER C.; ORRIOLS M. *Dispositifs de préhension pour la robotique. Règles de conception et de choix*. CETIM, Saint-Étienne, 1988.
- ENGELBERGER J. *Los robots industriales en la práctica*. Ediciones Deusto S.A., Bilbao, 1985.
- FERRATÉ G., et al. *Robótica Industrial*. Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 1986.
- FU, K.S.; GONZÁLEZ, R.C.; LEE, C.S.G. *Robótica. Control, detección, visión e inteligencia*. McGraw-Hill, Madrid, 1988.
- GIORDANO, M.; LOTTIN, J. *Cours de robotique. Description et fonctionnement des robots industriels*. Armand Colin, París, 1990.
- GROOVER, M.P.; WEISS, M.; NAGEL, R.N.; ODREY, N.G. *Robótica Industrial. Tecnología, Programación y Aplicaciones*. McGraw-Hill, Madrid, 1989.
- IFR (International Federation of Robotics). *Statistics* (anys 1988, 1989, 1990 i 1991). Estocolm, 1989, 1990, 1991 i 1992, respectivament.
- ISO/TR 8373 *Robots manipulateurs industriels - Vocabulaire* (Robots manipuladors industrials - Vocabulari), 1988.
- ISO 9401-1 *Robots manipulateurs industriels - Interfaces mécaniques. Partie 1 : Interfaces circulaire* (Robots manipuladors industrials - Interfícies

- mecàniques. Part 1: Interfícies circulars), 1988.
- ISO 9283 *Robots manipulateurs industriels - Critères de performance et méthodes d'essai correspondants* (Robots manipuladors industrials - Criteris sobre prestacions i mètodes d'assaig corresponents), 1990.
- ISO 9787 *Robots manipulateurs industriels - Système de coordonnées et mouvement* (Robots manipuladors industrials (Sistemes de coordenades i moviment), 1990.
- ISO 9946 *Robots manipulateurs industriels - Présentation des caractéristiques* (Robots manipuladors industrials - Presentació de característiques), 1991.
- LÓPEZ, P.; FOULC, J.N. *Introduction à la robotique* (volums I i II). Editests, París, 1984.
- NOF, Sh.Y. (ed.). *Handbook of Industrial Robots*. John Wiley & Sons, 1985.
- PHILIP, C. *La robotique de soudage. Premiers éléments*. Ecole National Supérieure des Arts et Métiers, París, 1988.
- PRIEL, M. *Les robots industriels. Caractéristiques, performances et choix*. AFNOR technique, París, 1990.
- RATHMILL, K. *Robotic Assembly*. IFS (Publications) Ltd., UK, Springer-Verlag, Berlín, 1985.
- YONEMOTO, K. *Robotization in Japan. Socio-economic impacts by industrial robots*. JIRA (Japan Industrial Robot Association), Tòquio, 1990.