

TERCER CAPÍTULO

3. COMPARACIÓ DETALLADA DELS SISTEMES CONSTRUCTIUS.

En aquest capítol, s'analitzen els sistemes prefabricats amb els quals les escoles de la mostra han estat projectades, fabricades i muntades. L'estudi d'aquests sistemes constructius s'estructura en cinc punts: **3.1.** Els sistemes constructius prefabricats, **3.2.** Les indústries dels sistemes, **3.3.** La fabricació, **3.4.** La posada en obra i **3.5.** Conclusions parcials.

En els quatre primers punts es comparen els sistemes entre ells, tenint en compte diferents característiques¹, que s'han establert com les més importants per poder contrastar-los. Per cadascuna d'aquestes característiques es classifiquen els sistemes en quatre categories: "A, B, C, D". Els sistemes que millor resolen un aspecte estan en el grup "A", els que el solucionen bé en el grup "B", els que el resolen en part en el grup "C" i els que no resolen l'aspecte en el "D".

Al final de cadascun dels quatre primers apartats d'aquest capítol, també es fa una valoració mitjana de les característiques estudiades, i es classifiquen els sistemes en les mateixes quatre categories anteriors. Per últim, en l'apartat "3.5" es fa una valoració mitjana dels punts anteriors, a partir de la qual s'estableixen els punts forts i febles de cada sistema.

Per cada característica s'especifica en cursiva el criteri que s'ha considerat, tot i que aquest és conseqüència d'un criteri general de valoració. Aquest criteri general valora que: el sistema plantegi i resolgui amb eficiència el màxim de requeriments; que tingui una indústria capdavantera amb una fabricació automatitzada i optimitzada; i que sigui possible un muntatge i desmuntatge fàcil i ràpid.

Aquest criteri està d'acord amb la posició d'aquesta tesi, en defensa d'una construcció amb tecnologies capdavanteres, flexibles, respectuoses amb el medi... Per tant, es podria considerar que aquest criteri general és subjectiu. No obstant, l'objectivitat d'aquest anàlisi no depèn d'aquest criteri sinó de la classificació en les quatre categories, el qual és neutral. Per exemple, en una tesi diferent en la qual es valorés que les tecnologies fossin manuals i artesanals, es podrien utilitzar les mateixes categories, però en aquest cas la "D" seria la òptima i la "A" la pèssima.

¹ Aquestes es justifiquen en l'apartat "3" del "Preàmbul" i s'han estudiat en el capítol "8" de la "Segona part".

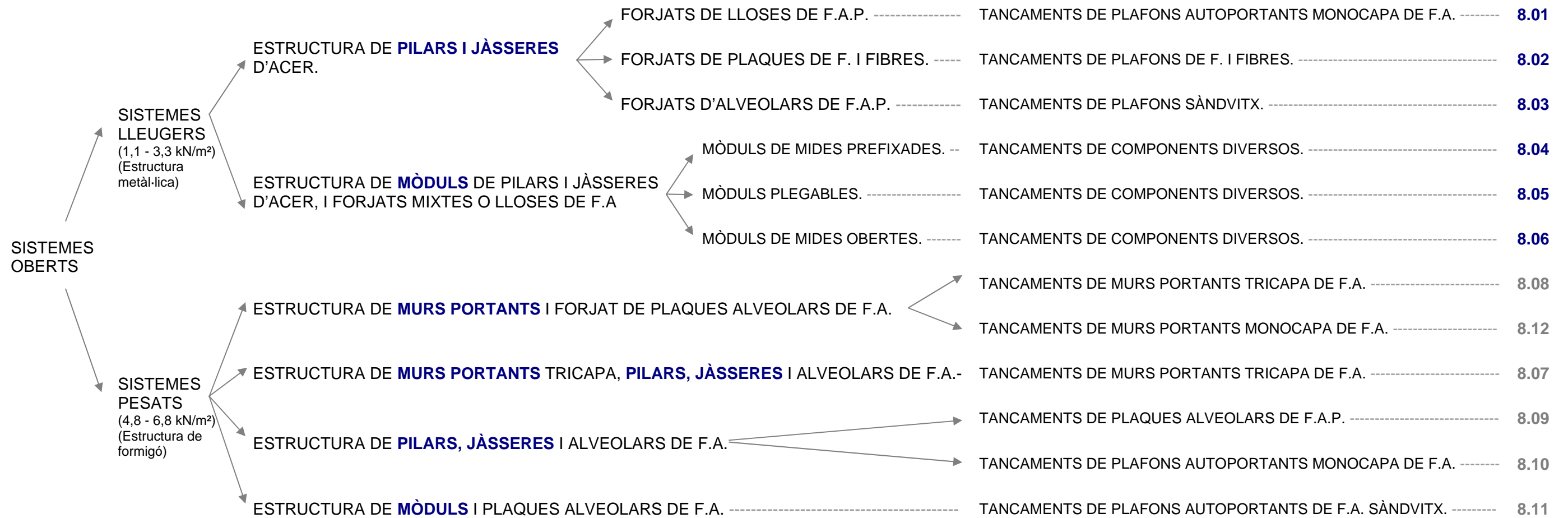
Els sistemes prefabricats, amb els quals s'han construït les escoles de la mostra, són els 12 següents. Aquests s'han definit i determinat en aquesta tesi a partir del comportament estructural de les seves parts, com s'explica en la pàgina següent. Alguns d'ells es podrien haver dividit en subgrups, a partir d'algunes de les seves característiques, però s'han considerat com un de sol perquè tenen la mateixa estructura i les diferències són mínimes.

- 8.01.** Sistema d'estructura metàl·lica modulada i tancament per components.
- 8.02.** Sistema d'estructura metàl·lica modulada i tancament de plafons de formigó i fibres.
- 8.03.** Sistema d'estructura metàl·lica modulada i tancament de plafons sandvitx.
- 8.04.** Sistema d'estructura de mòduls metàl·lics de mesures prefixades i components.
- 8.05.** Sistema d'estructura de mòduls metàl·lics plegables de mesures prefixades i components.
- 8.06.** Sistema d'estructura de mòduls metàl·lics de mesures obertes i components.
- 8.07.** Sistema de murs portants tricapa, pòrtics i plaques de forjat de formigó prefabricat.
- 8.08.** Sistema de murs portants tricapa i plaques de forjat de formigó prefabricat.
- 8.09.** Sistema de pòrtics, plaques de forjat i de façana de formigó prefabricat.
- 8.10.** Sistema de pòrtics, plaques de forjat i plafons autoportants de formigó prefabricat.
- 8.11.** Sistema de mòduls portants, plaques de forjat i plafons de formigó prefabricat.
- 8.12.** Sistema de murs portants massissos i plaques de forjat de formigó prefabricat.

El següent esquema justifica la divisió en 12 sistemes, i els **classifica** segons el caràcter estructural dels seus components. S'observa que la meitat dels sistemes són lleugers, és a dir que tenen una estructura metàl·lica i un pes d'1,1 - 3,3 kN/m². L'altra meitat són pesats, amb una estructura de formigó i un pes de 4,8 - 6,8 kN/m². Per calcular aquest pes s'han considerat els edificis que s'estudien en el "Novè capítol".

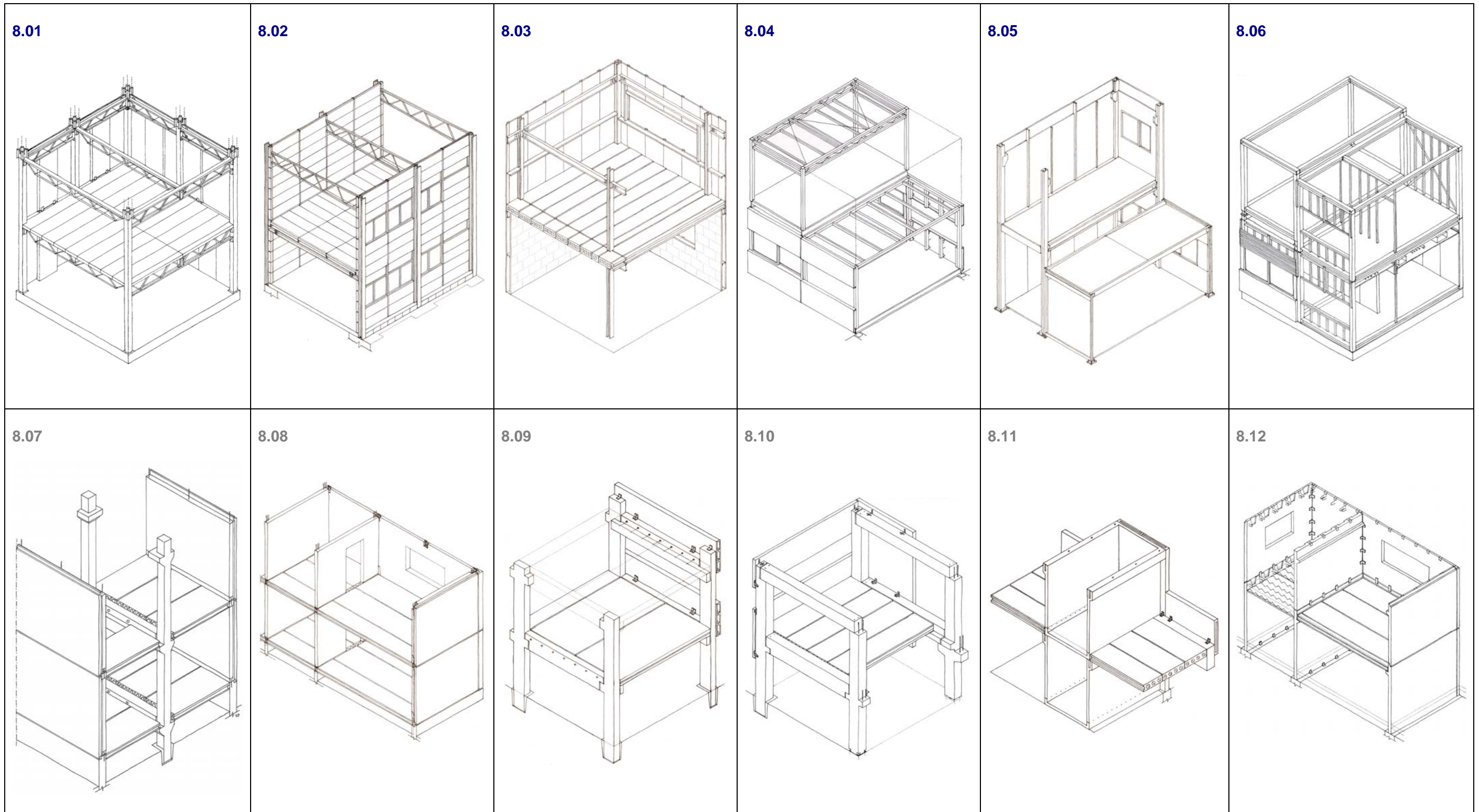
En aquest capítol i el següent, els sistemes lleugers es representaran amb el seu codi en color **blau fosc**. D'aquests, els que es van utilitzar per construir escoles en la primera etapa són tots de pilars i jàsseres, amb diferents sistemes de tancament. En canvi, els sistemes lleugers utilitzats en la segona etapa tenen tots estructures de mòduls de diferents tipus, amb tancaments de components diversos.

També en aquest capítol i el següent, els sistemes pesats es representaran amb el seu codi en color **gris**. Aquests sistemes són de diferents tipus segons els elements portants. A les dues etapes se'n van utilitzar diversos amb estructura de murs de càrrega, els quals tenien seccions de capes diferents. També es van prefabricar sistemes de pilars i jàsseres en els dos períodes, els quals tenien diferents sistemes de tancament exterior. A part, hi ha dos sistemes pesats que són singulars, un amb una estructura que combina murs portants, pilars i jàsseres; i un altre amb una estructura de mòduls portants.



En les següents axonometries isomètriques es descriuen gràficament els 12 sistemes.

Aquestes axonometries són les que s'han dibuixat en l'apartat "8", que representen una part significativa d'un edifici com a resum de l'aplicació del sistema.



3.1. ELS SISTEMES CONSTRUCTIUS PREFABRICATS.

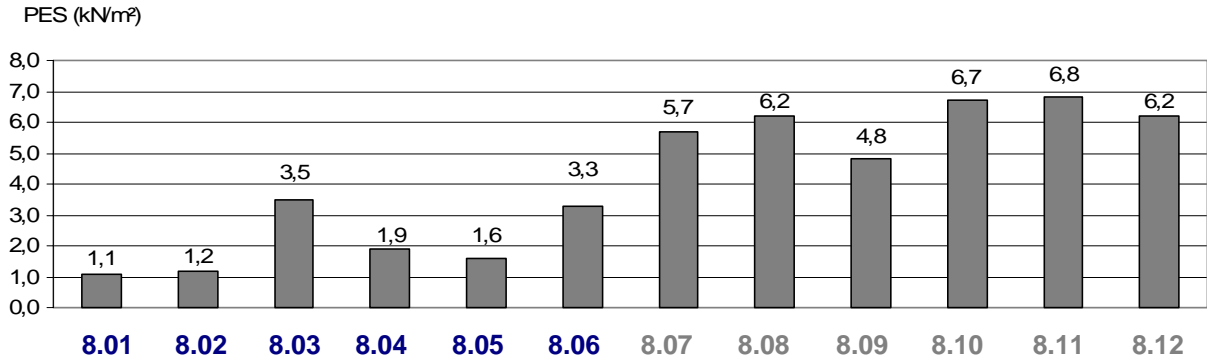
En aquest primer apartat, s'estudien les característiques tècniques dels 12 sistemes amb els quals s'han construït les escoles de la mostra. La majoria d'aquests han tingut una **tecnologia** registrada amb patents o productes, però només n'hi ha 2 que siguin dissenys desenvolupats en el nostre país. A continuació, es classifiquen les tecnologies registrades dels sistemes que en tenen, diferenciant el país on es van dissenyar aquestes. ("A" són sistemes que tenen patents nacionals i "B" són sistemes amb patents estrangeres).

8.01	8.02	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.12
Clasp	Durisol	Plibat	Modultec	Jespersen	Larsen & Nielsen	Span Deck	Indagsa
Regne Unit	Suïssa	Europa	Espanya	Dinamarca		Estats Units	Nacional
B	B	B	A	B	B	B	A

Només 5 sistemes tenen **modulació**, que en tots ells és múltiple de 30 cm. N'hi ha 3 que la consideraven un ajut en el projecte i en feien ressò, ja que l'entenien com una qualitat que podia donar ordre i riquesa al projecte. En canvi els altres no n'han fet ressò, perquè ho han considerat una conseqüència de la fabricació, que només s'havia de tenir en compte en el procés industrial. ("A" són sistemes que tenien una modulació que s'utilitzava pel projecte i "B" són sistemes que tenen una modulació només per la fabricació).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.07
Modulació	30 cm	150 cm	90 cm	90 cm	30 cm
Difusió	Externa	Externa	Interna	Interna	Externa
Classificació	A	A	B	B	A

El **pes per superfície** dels sistemes permet classificar-los en lleugers i pesats. En el gràfic de la pàgina següent es representa el pes d'un tram central de cada sistema. Per calcular-ho s'han agafat d'exemple els centres escolars que s'estudien en l'apartat "9". En aquest cas, els lleugers tenen un pes de 1,1 a 3,3 kN/m², mentre que en els pesats oscil·la entre 4,8 i 6,8 kN/m².



Gràfica [1] amb el pes per superfície de cada sistema.

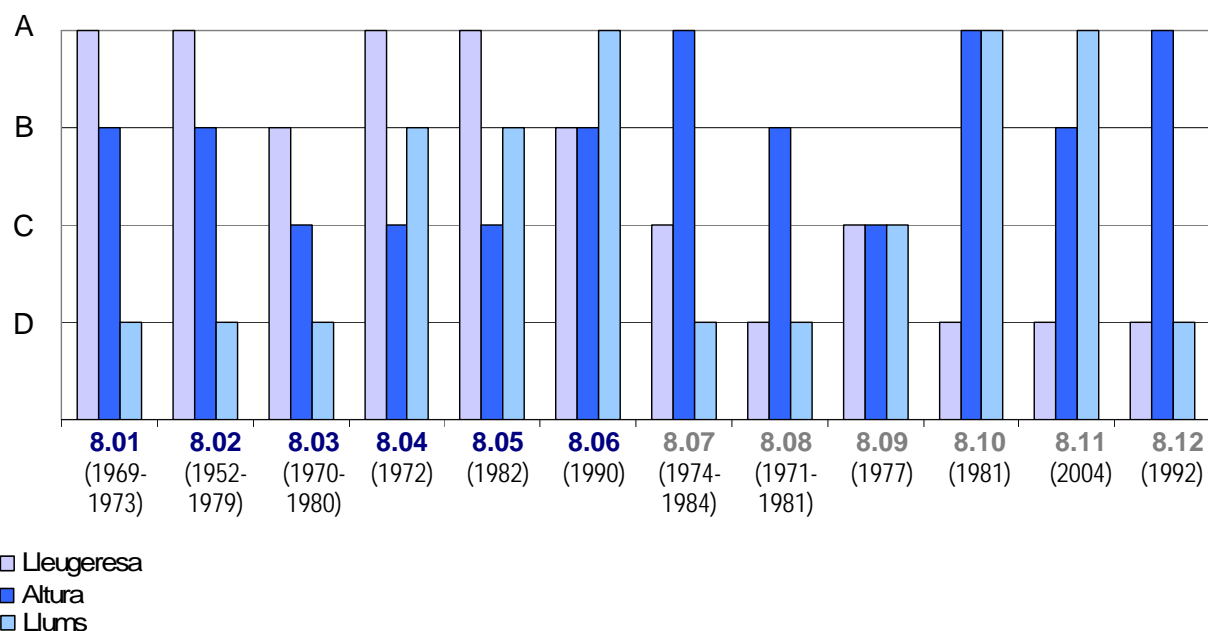
Cada sistema permet construir edificis de fins a certa **altura**. Tots els sistemes permeten d'1 a 3 plantes, i la majoria de 3 a 4 plantes. Només hi ha 5 sistemes que permetin més de 4 plantes: el "8.06, 8.07, 8.08, 8.10, 8.12"; que són 4 sistemes pesats i un de lleuger. ("A" són sistemes que han permès construir d'1 a més de 4 plantes, "B" han permès d'1 a 4 plantes, i "C" han permès d'1 a 3 plantes).

		8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Altura (plantes)	1-3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	3-4	■	■				■	■	■		■	■	■
	>4							■			■		■
Classificació		B	B	C	C	C	B	A	B	C	A	B	A

Cada sistema prefabricat possibilita construir projectes d'un interval de **llums** determinat. La majoria de sistemes treballen amb llums de 5 a 9 m. Els que tenen estructures de mòduls, com el "8.04, 8.05, 8.06 i 8.11", permeten llums grans - de 9 a 12 m- però impliquen llums transversals petites - de 3 a 5 m. Els sistemes "8.06, 8.10 i 8.11" permeten llums de més de 12 m. ("A" són sistemes que han permès llums de 3 a més de 12 m, "B" han permès de 3 a 12 m, "C" han permès de 5 a 12 m i "D" han permès de 5 a 9 m).

		8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Llums (metres)	3-5				■	■	■				■	■	■
	5-9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	9-12				■	■	■			■	■	■	
	>12						■				■	■	
Classificació		D	D	D	B	B	A	D	D	C	A	A	C

En el següent gràfic es posa de manifest que no hi ha una relació constant entre la lleugeresa, l'alçada i les llums dels sistemes.



Gràfica [2] en la qual es compara la lleugeresa, l'altura i les llums que permet cada sistema.

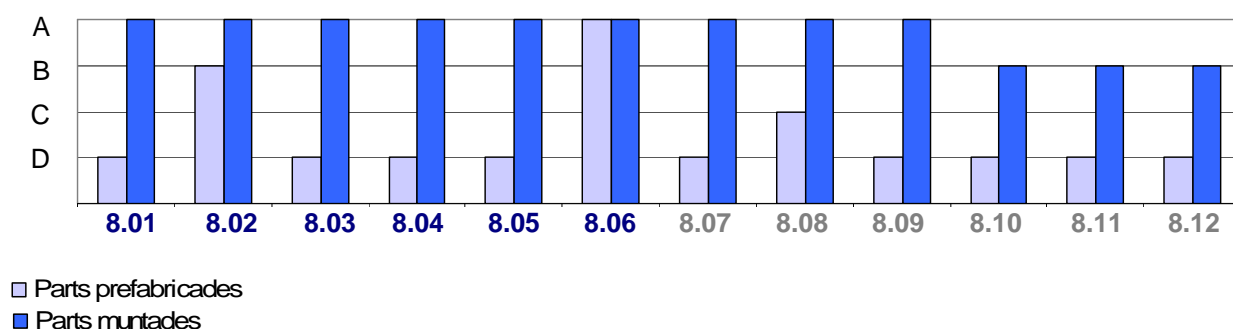
Els 12 sistemes es poden diferenciar per les **parts de l'edifici que permet prefabricar** cadascun. Tots els sistemes prefabriquen l'estructura i el tancament de façana, ja que és un dels requisits de l'objecte d'estudi. El "8.06" és l'únic que prefabrica el conjunt de l'edifici excepte els fonaments. El "8.02" resol l'estructura, els tancaments exteriors, i les divisions interiors. Per últim, el "8.08" produeix l'estructura, el tancament de façana i les divisions interiors. (*"A" és el sistema que pot prefabricar el conjunt de l'edifici menys els fonaments; "B" el que produeix l'estructura, els tancaments i els interiors; "C" el que fabrica l'estructura, els tancaments i els interiors; i "D" els que prefabriquen estructura i tancament de façana*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Estructura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tancament de façana	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Coberta		■				■						
Divisions interiors		■				■		■				
Conjunt de l'edifici (excepte fonaments)						■						
Classificació	D	B	D	D	D	A	D	C	D	D	D	D

També es poden classificar segons la quantitat de **parts muntades que resolten a l'obra**. La majoria dels sistemes permeten muntar el conjunt de l'edifici excepte la fonamentació. Però n'hi ha 3 que només permeten fer l'estructura i el tancament de façana, que són els tres sistemes pesats de la segona etapa. (*"A" són sistemes que poden muntar el conjunt de l'edifici, i "B" els que només poden muntar l'estructura i la façana*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Estructura												
Tancament de façana												
Conjunt edifici (excepte fonaments)												
Classificació	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B

En el gràfic següent es representen les parts prefabricades i muntades que resol cada sistema, un dels quals pot prefabricar i muntar el conjunt de l'edifici menys els fonaments.



Gràfica [3] en la qual es comparen les parts prefabricades i muntades que pot resoldre cada sistema.

Les parts dels sistemes són els seus **components**, que es poden dividir segons el caràcter portant en **elements estructurals** i de **tancament**. Els estructurals es poden classificar en 4 tipus segons la seva funció: portants verticals, lineals de forjat, superficials de forjat i d'arriostament.

Els **elements estructurals portants verticals** són pilars en la majoria dels sistemes, excepte en 4 sistemes pesats, en els quals són murs o mòduls portants. D'aquests s'ha considerat idoni que les seves seccions siguin mínimes, que la seva capacitat portant sigui màxima, que el pes propi sigui mínim i que hi hagi diversitat de solucions.

(“A” és el sistema amb els elements portants més lleugers; “B” són els altres que tenen elements portants lleugers; “C” els que tenen diverses solucions d’elements portants pesats; i “D” els que només tenen una solució d’element portant pesat).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Pilars P.A.C.F. ¹												
Pilars F.A.P. ²												
Pilars P.T.A.L.C. ³												
Pilars P.E.A.L.C. ⁴												
Mòduls F.A.P.												
Murs F.A.P.												
Classificació	B	B	B	B	A	B	C	D	D	D	C	D

Els **elements estructurals lineals de forjat** són jàsseres i només els tenen 10 sistemes, perquè n’hi ha 2 amb murs portants no n’utilitzen. És molt important que aquests elements lineals de forjat siguin lleugers i permeables per permetre el pas d’instal·lacions. (“A” són els que tenen elements de forjat lleugers i permeables; “B” els que en tenen de lleugers; “C” els que tenen diverses solucions pesades ; i “D” els que tenen un tipus d’element pesat).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
D’acer en gelosia												
De P.A.C.F.												
De P.E.A.L.C.												
De F.P.P. ⁵												
De F.A.P.												
Classificació	A	B	B	B	A	B	B	D	B	C	C	D

Els **elements estructurals superficials de forjat** són plaques alveolars de formigó en la majoria. El més important d’aquests elements és que hi hagi diversitat de solucions per a cada aplicació, que permetin llums diverses, que tinguin cantells mínims i que siguin lleugers.

¹ Perfils d’acer conformats en fred. Totes les abreviatures es recullen en l’apartat “11.1. Abreviatures” de l’Annex.

² Formigó armat prefabricat. Totes les abreviatures es recullen en l’apartat “11.1. Abreviatures” de l’Annex.

³ Perfils tubulars d’acer laminats en calent. Apartat “11.1. Abreviatures” de l’Annex.

⁴ Perfils europeus d’acer laminats en calent. Apartat “11.1. Abreviatures” de l’Annex.

⁵ Formigó precomprimit prefabricat. Totes les abreviatures es recullen en l’apartat “11.1. Abreviatures” de l’Annex.

(“A” són els sistemes que tenen diverses solucions amb cantells mínims; “B” els que tenen un tipus d’element amb cantell mínim; “C” els que tenen una solució que resolt diversos cantells; i “D” els que tenen un element de prestacions molt limitades).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Alveolars F.P.P.												
Alveolars F.A.P.												
Llosa col·laborant												
Llosa F.A.P.												
Llosa F.A.P. lleuger												
Placa F.A.P. i fibres												
Classificació	D	D	C	D	C	C	B	B	B	A	A	A

Els **elements estructurals d’arriostrament**, per fer front als esforços horitzontals, són creus de Sant Andreu en la majoria de sistemes. De les diferents solucions, les que tenen millor resultat són les que tenen una execució senzilla i en sec. (“A” són els sistemes que tenen una solució molt senzilla que s’executa en sec; “B” els que tenen un element senzill en el qual s’ha d’abocar formigó; “C” els que tenen una solució humida complexa ; i “D” el que no té resolt l’arriostrament).

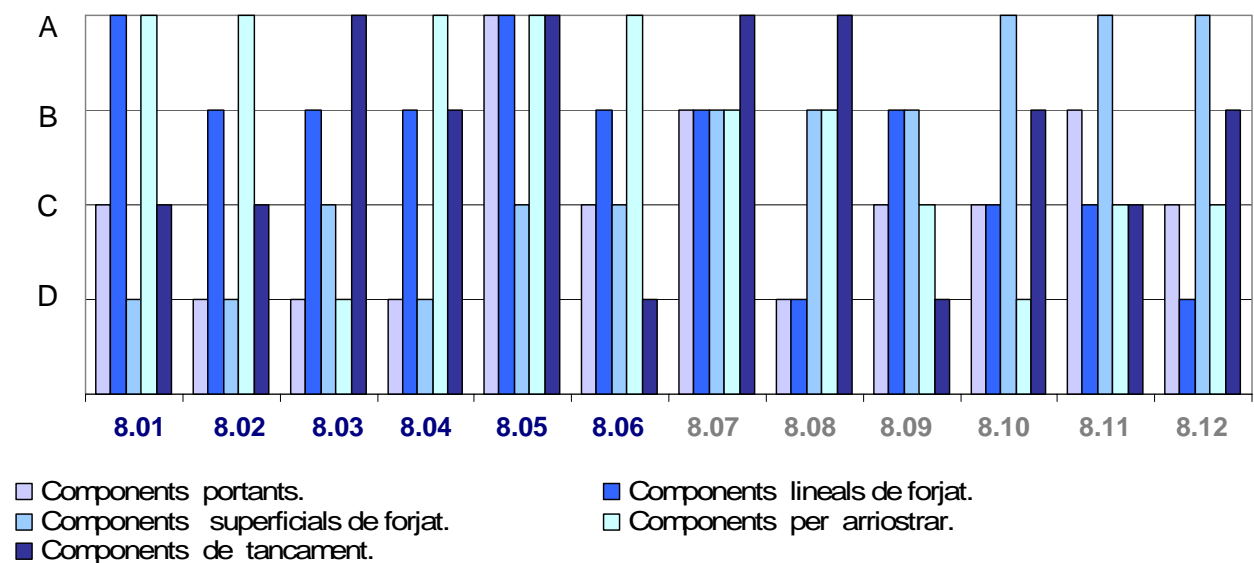
	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Creus St. Andreu.												
Mòduls.												
Plafons.												
Nusos rígids F.A.												
Capa superior F.A.												
Classificació	A	A	D	A	A	A	B	B	C	C	C	C

Els **elements de tancament** són majoritàriament plafons de F.A., dels quals n’hi ha part que són autoportants i part que són estructurals. Aquests elements és òptim que resolguin el màxim de prestacions de la façana, que siguin lleugers i que tinguin poc gruix.

(“A” són els sistemes que tenen elements de façana que resolen el màxim de prestacions; “B” els que resolen menys prestacions però en poc gruix; “C” els que tenen més gruix per les seves prestacions però són lleugers ; i “D” els que són pesats i tenen més gruix).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Tricapa de F.A.P.							■	■				
Sandvitx d'acer			■		■							
Monocapa F.A.P.										■		■
Monocapa G.R.C.				■								
Sandvitx de F.A.P.	■										■	
F.A.P. i fibres fusta		■										
Alveolar F.P.P.									■			
Indefinit						■						
Classificació	C	C	A	B	A	D	A	A	D	B	C	B

La majoria de sistemes tenen una part d'elements optimitzada i una part que hauria de millorar. Només es pot considerar que estan ben resoltos en conjunt el “8.07”, “8.05” i “8.06”.



Gràfica [4] en la qual es comparen els components de cada sistema.

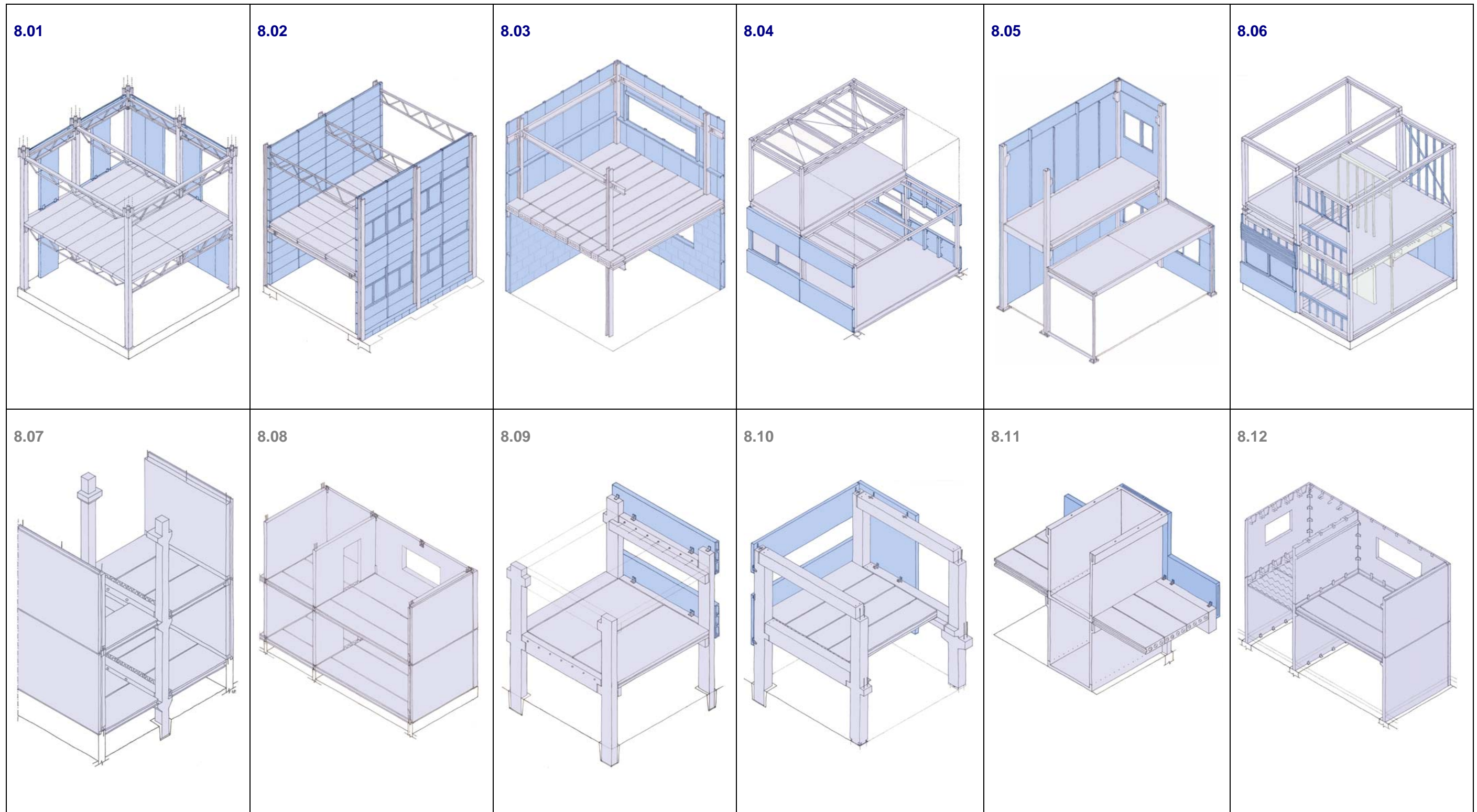
En la pàgina següent es classifiquen aquests elements estructurals i de tancament. És destacable, el fet que tots els elements superficials de forjat són de formigó -sigui armat, precomprimit, o amb xapa-, com també ho són la majoria d'elements de tancament.

Elements estructurals dels sistemes	Forjats de peces de formigó	Elements portants d'acer	Pòrtics i jàsseres	8.01		
				8.02		
				8.03		
		Elements portants de formigó	Mòduls de pòrtics i jàsseres	8.04		
				8.05		
				8.06		
				Pòrtics i jàsseres	8.09	
					8.10	
					8.07	
					Murs portants	8.08
						8.11
						8.12
			Mòduls de murs portants	8.12		

Elements de tancament de façana dels sistemes	D'acer	Formen part de l'element estructural	Indefinit	8.06	
				8.03	
		No formen part de l'element estructural	Plafons sandvitx	8.05	
		De formigó o G.R.C.	Formen part de l'element estructural		8.07
				Plafons F.A.P.	8.08
				8.11	
	No formen part de l'element estructural			8.01	
			Plafons F.A.P.	8.10	
				8.12	
			Plafons F.P.P.	8.09	
			Plafons formigó i fibres	8.02	
		Plafons G.R.C.	8.04		

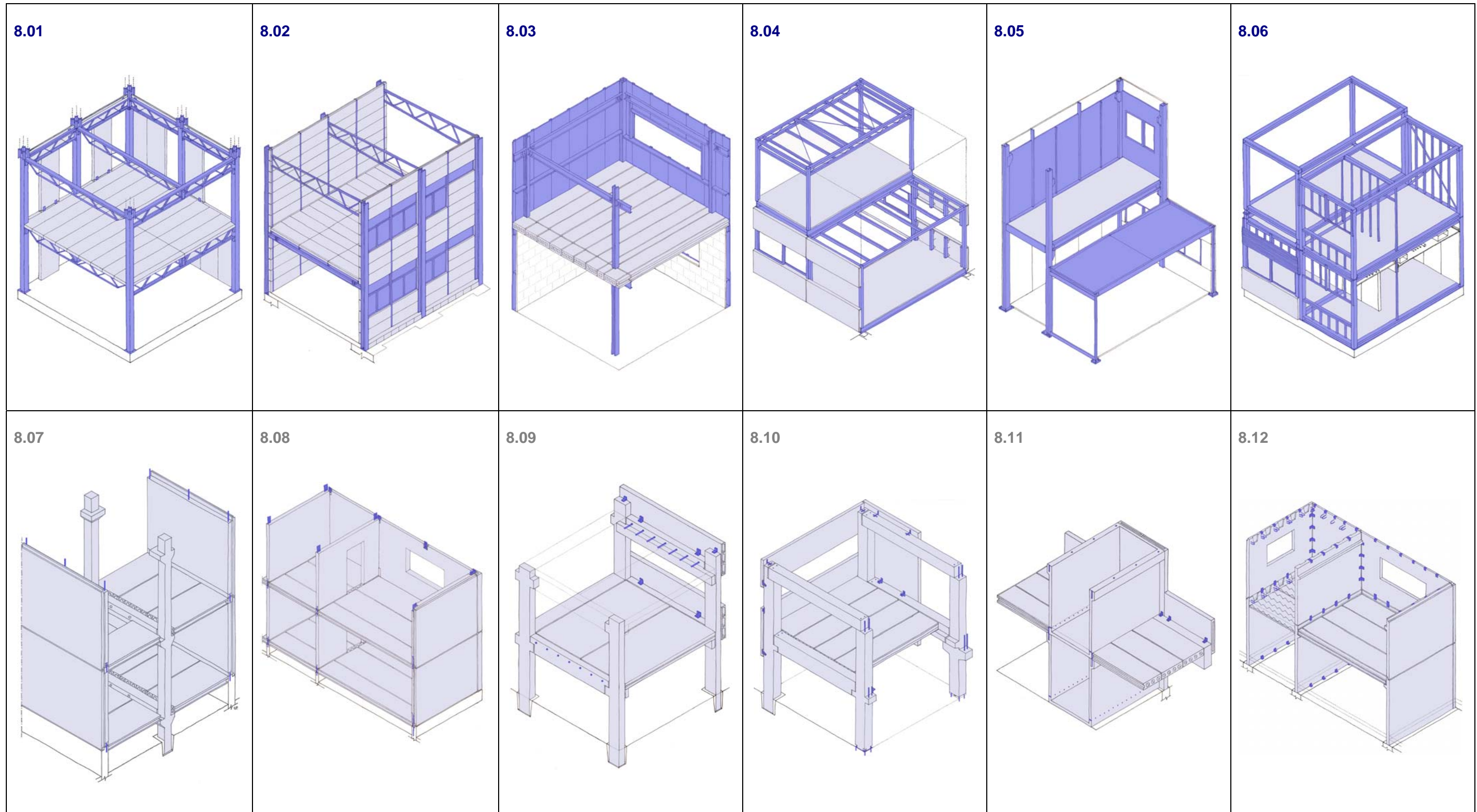
En les següents axonometries isomètriques, es compara el **caràcter estructural dels components** dels 12 sistemes. Els elements portants es representen en gris i els no portants en blau. En els sistemes en els quals el tancament exterior no és estructural, la façana pot tenir grans obertures, pot haver-hi parts resoltes amb altres sistemes...

Aquestes axonometries són les que s'han dibuixat en l'apartat "8", i representen una part significativa de l'edifici que resumeix cada sistema.




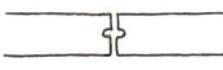



En les axonometries isomètriques següents es compara el **material dels components**. Es representen els components metàl·lics amb blau i els components de formigó amb gris. No s'ha dibuixat l'armat dels elements de formigó per raons d'escala però, en el quadre de la pàgina 64 sobre components, s'especifica si és: de formigó en massa, amb fibres, armat o precomprimit. És important l'ús divers de components de diferents materials, per evitar la dependència del sistema cap a un sol material. És singular el fet que alguns sistemes pesats resolguin parts de la façana amb components lleugers, com el "8.10", "8.09", "8.11" i "8.12". A més a més, aquests quatre fan els trasdossats amb entramats metàl·lics i plaques de cartró guix.

Aquestes axonometries són les que s'han dibuixat en l'apartat "8", que representen una part significativa de l'edifici que resumeix cada sistema.



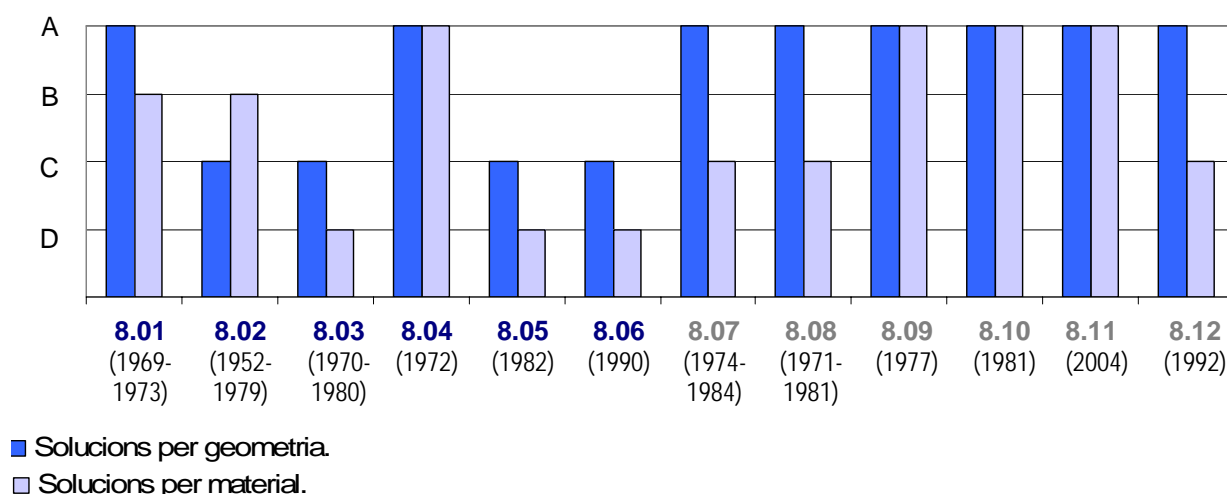
Les taules següents són un resum de les **junes** de cada un dels 12 sistemes. Aquestes juntes són les de la façana i, per tant, estant relacionades amb els “components de tancament”, que s’han analitzat prèviament. A continuació, s’avaluen segons les seves prestacions: seguretat a l’estanqueïtat, facilitat de desconstrucció, possibilitats de reutilització i reciclatge... En la primera taula s’analitzen les **solucions de la junta per geometria**. És “indefinida” quan el sistema permet múltiples façanes i cap d’aquestes és preferent. (“A” són els sistemes que tenen les juntes en la direcció horitzontal i vertical resoltes per geometria, i “B” els que tenen les juntes en una direcció indefinides o sense resoldre).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Junta horitzontal												
Encadellada 												
Mascle i femella 												
Indefinit												
Junta vertical												
Encadellada 												
Cambra de compressió 												
Tapajunts 												
Indefinida												
Classificació	A	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A

Les juntes poden tenir diferents **solucions amb material**, segons la composició del segellat i la posició d'aquest en el gruix del tancament. Si està a l'interior és més fàcil d'executar i està més protegit. En canvi, a l'exterior el manteniment és més senzill. (“A” són sistemes amb juntes segellades per l'interior o l'exterior, “B” sistemes amb juntes segellades per l'interior, “C” sistemes amb juntes formigonades i “D” sistemes amb juntes indefinides).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Diafragma de neoprè							■	■				
Cordó segellant	■	■		■					■	■	■	■
Morter												■
Formigó							■	■				
Posició exterior				■			■	■	■	■	■	■
Posició interior	■	■		■			■	■	■			■
Indefinida						■						
Classificació	B	B	D	A	D	D	C	C	A	A	A	C

La majoria de sistemes tenen juntes que són una bona solució per geometria i per material, o sinó tenen juntes deficientes o indefinides també per les dues variables.



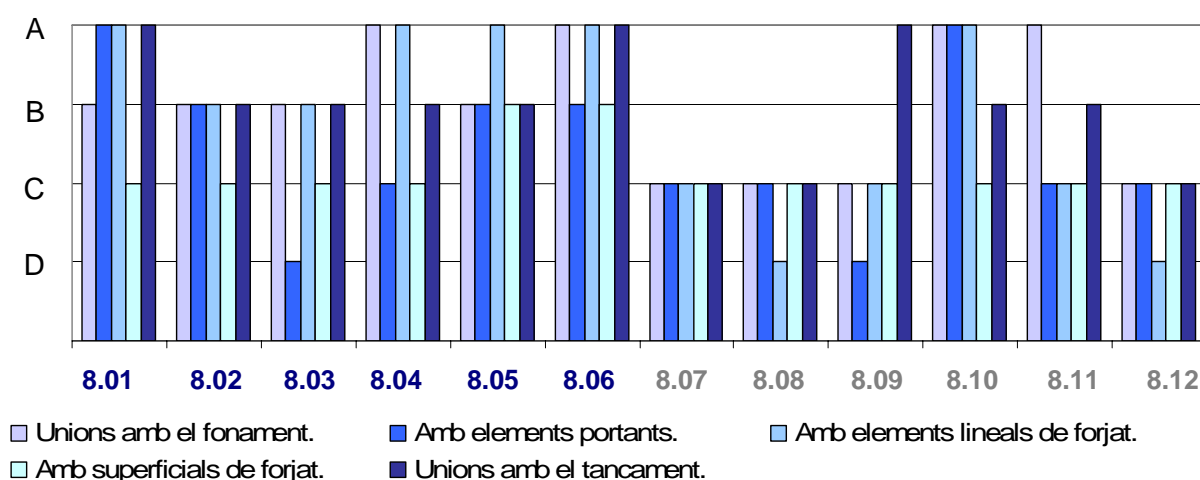
Gràfica [5] en la qual es comparen les diferents solucions de les juntes dels sistemes.

A continuació s'analitzen les 5 **unions** principals de cada un dels 12 sistemes: **entre fonaments i elements verticals, entre elements verticals portants, entre elements lineals de forjat, entre elements superficials de forjat i amb elements de tancament.**

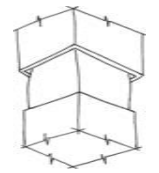
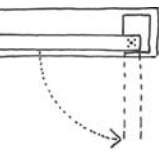
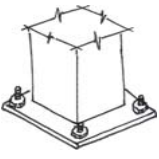
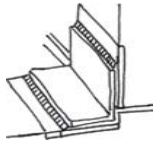
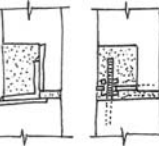
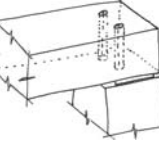
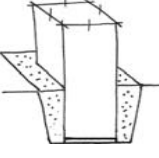
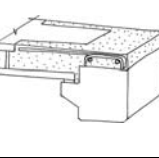
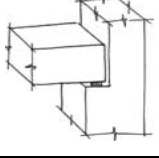
Aquestes 5 unions, es resolen amb una o més de les 9 opcions diferents que es recullen en la taula de la pàgina següent. La primera és “encaixada a pressió”, que és la connexió a pressió d'un mascle i una femella metàl·lics. La “plegable” té una articulació que permet plegar els components connectats a fàbrica. La tercera és “amb cargols” i utilitza barres, platines i femelles d'acer. En la “soldada” es solden els components d'acer o unes plaques d'acer embegudes en components de formigó. La “acabada amb morter” és una unió cargolada o soldada que s'omple amb morter. La “amb beines” consisteix en introduir barres metàl·liques en unes beines dels elements de formigó i abocar-hi morter de baixa retracció. La setena és “en calze” i es posa primer morter d'anivellació, després l'element vertical i finalment es formigona. En una “armada i formigó” es col·loca l'armadura i es formigona. En una “recolzada”, l'element descansa damunt una platina metàl·lica, regulada amb bandes de neoprè. Si el sistema no té solucionada la connexió, llavors no s'indica cap de les opcions.

Les unions dels sistemes es comparen en la taula valorant: que tinguin una execució senzilla, que siguin en sec i desmuntables, que el sistema tingui la possibilitat d'utilitzar-ne diverses i que tinguin una màxima capacitat de transmetre esforços. (“A” són sistemes que ofereixen diversos tipus de solucions, de les quals com a mínim una és en sec; “B” són els que utilitzen només unions en sec d'un tipus, “C” els que utilitzen unions humides, soldades o simplement recolzades i “D” són els sistemes que no tenen resoltes les unions).

La majoria de sistemes, que tenen unions en sec fàcils d'executar, les tenen òptimes en els 5 casos, com el “8.01” i els sistemes lleugers de la segona etapa.



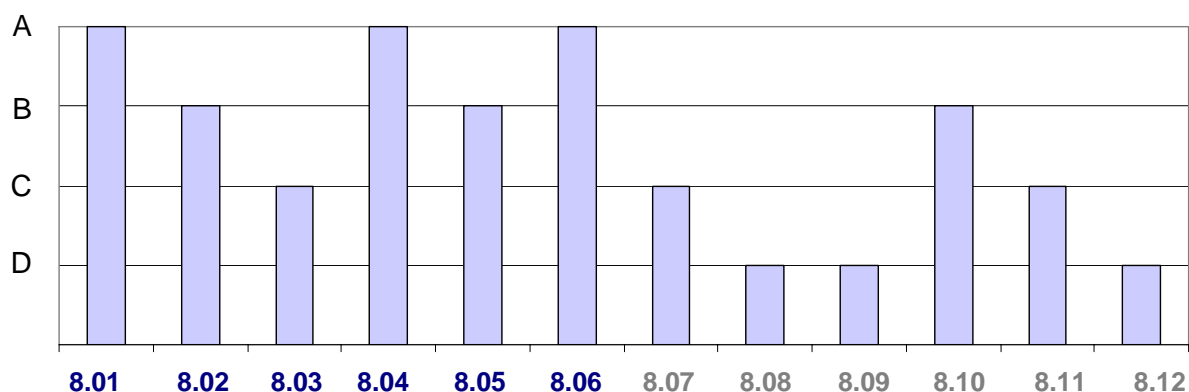
Gràfica [6] amb les unions entre els components de cada sistema.

	Unió entre fonaments i elements verticals portants.												Unió entre elements verticals portants.												Unió entre elements lineals de forjat.												Unió entre elements superficials de forjat.												Unió entre elements de tancament.																										
	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12															
Encaixada a pressió 																																																																											
Plegable 																																																																											
Amb cargols 																																																																											
Soldada 																																																																											
Acabada amb morter 																																																																											
Amb beines 																																																																											
En calze 																																																																											
Armada i formigó 																																																																											
Recolzada 																																																																											
Classificació	B	B	B	A	B	A	C	C	C	A	A	C	A	B	D	C	B	B	C	C	D	A	C	C	A	B	B	A	A	A	C	D	C	A	C	D	C	C	C	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	A	B	B	B	B	A	C	C	A	B	B	C														

En resum, en aquest apartat s'han estudiat les següents 21 característiques i prestacions dels 12 sistemes.

- | | | |
|---|---|--|
| 1. Tecnologia.
2. Modulació.
3. Altures.
4. Llums.
5. Pes. | } | Referents a característiques generals. |
| 6. Parts prefabricades.
7. Parts muntades. | } | Referents al grau de prefabricació. |
| 8. Components portants verticals.
9. Components lineals de forjat.
10. Components superficials de forjat.
11. Components d'arriostament.
12. Components de tancament.
13. Caràcter estructural dels components.
14. Material del conjunt de components. | } | Referents als components. |
| 15. Geometria de les juntes.
16. Material de les juntes. | } | Referents a les juntes. |
| 17. Unions amb el fonament.
18. Unions amb elements portants.
19. Unions amb elements lineals de forjat.
20. Unions amb elements superficials de forjat.
21. Unions amb el tancament. | } | Referents a les unions. |

Aquest últim gràfic indica la classificació dels sistemes, segons la valoració mitjana d'aquest conjunt de 21 característiques. Mitjançant aquesta valoració es divideixen els sistemes en les quatre categories A, B, C i D.



Gràfica [7] amb la classificació dels 12 sistemes segons les 21 característiques d'aquest apartat.

3.2. LES INDÚSTRIES DELS SISTEMES.

En aquest apartat s'estudien les característiques de les indústries dels 12 sistemes¹, i cada indústria s'anomena amb el mateix codi que el sistema que produeix. Com s'explica en el "Segon Capítol", la majoria de sistemes han tingut una sola indústria, que els fabricava i muntava de forma exclusiva. No obstant, hi ha dos sistemes pesats de la segona etapa que són una excepció: el "8.10" i el "8.11". El sistema "8.11" l'ha produït només una prefabricadora, però aquesta també ha fabricat el "8.10" juntament amb 4 sistemes més. En aquest cas, s'ha escollit una indústria que fos representativa del conjunt per estudiar-la en profunditat, i s'han tingut en compte les altres quatre per ampliar informació.

D'aquestes indústries analitzarem les característiques principals. És important que hagin estat indústries modernes, amb una **data d'inici** al màxim de recent. (*"A" són indústries que van començar entre 1995 i 2004, "B" les que ho van fer entre 1981 i 1994, "C" indústries que van començar entre 1965 i 1980 i "D" les que ho van fer entre 1952 i 1964*).

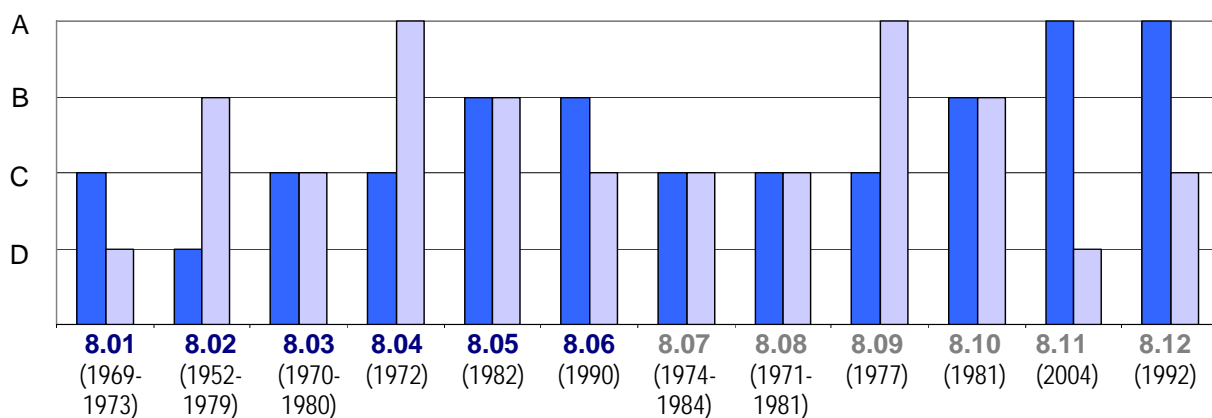
	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Data d'inici	1969	1952	1970	1972	1982	1990	1972	1971	1977	1981	2004	1992
Classificats	C	D	C	C	B	B	C	C	C	B	A	A

Tot i això, també és significatiu que hagin estat indústries amb l'experiència d'una **durada** en anys llarga i dilatada. (*"A" són indústries que tenien més de 30 anys d'experiència, "B" les que tenien entre 20 i 30 anys de trajectòria, "C" les que tenien de 10 a 20 anys d'experiència i "D" indústries amb menys de 10 anys d'experiència*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Data final	1973	1979	1980	----	----	----	1984	1981	----	----	----	----
Durada	4	27	10	36	26	18	10	10	31	27	4	16
Classificats	D	B	C	A	B	C	C	C	A	B	D	C

Si comparem la modernitat i l'experiència de les indústries es pot concloure que, les que van construir escoles amb sistemes lleugers durant la segona etapa, tenen una trajectòria més dilatada. En canvi, les indústries que van utilitzar sistemes pesats són més recents. Aquest fet es pot observar en el gràfic de la pàgina següent.

¹ En l'apartat "1.2" del "Preàmbul" es defineix què s'entén en aquesta tesi per "sistema" i per "indústria".



- Data d'inici.
- Durada en anys.

Gràfica [1] en la qual es comparen la data d'inici i la durada en anys de cada sistema.

El **teixit fabril** és important que sigui ampli, però en la majoria d'indústries ha estat un sol centre de producció. ("A" és una indústria amb més de 6 centres de producció, "B" amb 2 centres, "C" una indústria amb un centre de producció, i "D" una que en compartia un).

Indústries	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Més de sis												
Dues												
Una												
Compartida												
Classificació	D	C	C	C	C	C	B	B	C	A	C	C

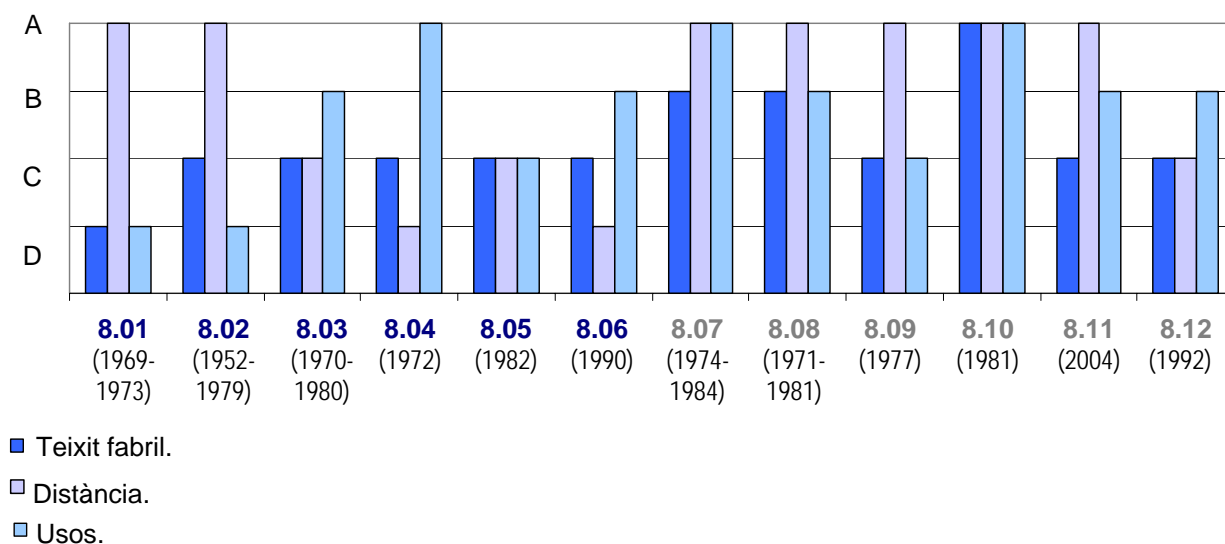
És positiu que les indústries estiguin a una **distància** mínima del solar. En el quadre següent hi ha la distància entre les fàbriques i la ciutat de Barcelona, que és un punt del territori representatiu de la situació de les escoles de la mostra, com es pot comprovar en els mapes de distribució del "Segon Capítol". ("A" són indústries que estaven de 34 a 250 km de Barcelona, "B" de 251 a 500 km, "C" de 501 a 750 km i "D" de 751 a 1032 km).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Distància (Km)	34	22	638	1032	731	879	65	30	52	93	137	597
Classificació	A	A	C	D	D	D	A	A	A	B	B	C

També és important que puguin resoldre el màxim d'**usos**, i de fet tots els sistemes han permès fer edificis de diversos programes, a més del docent. Alguns en permetien diversos, fins a quatre o cinc dels considerats, com el "8.03, 8.04, 8.06, 8.10, 8.11 i 8.12". D'altres estaven especialitzats en dos tipologies edificatòries, com el "8.01" i el "8.02". ("A" sistemes que han resolt 5 ó 6 usos, "B" els n'han resolt 4, "C" 3 usos i "D" els que n'han resolt 2 usos).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Usos												
Docent	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Industrial		■					■	■	■	■		
Oficines			■	■	■	■	■			■	■	■
Residencial			■	■		■	■	■		■	■	■
Sanitari			■	■						■		
Terciari	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■
Classificació	D	D	B	A	C	B	A	B	C	A	B	B

Les 3 característiques anteriors ens donen una idea de la capacitat de cada indústria per construir les escoles prefabricades de la mostra. Com s'observa en el gràfic següent, els sistemes pesats han tingut un teixit industrial més potent, especialment el "8.07" i "8.08" que es van utilitzar en el primer període i el "8.10" que es va utilitzar en el segon.



Gràfica [2] en la qual es comparen el teixit fabril, la distància al solar i els usos de cada sistema.

L'**oficina tècnica** de la indústria és una part important en l'assessorament del projecte i l'obra. És òptim que sigui pròpia, pròxima als professionals i que, si tenia relació amb una indústria externa, fos de recolzament. (*"A" sistemes que tenien una oficina tècnica pròpia, "B" els que la tenien pròpia en part i "C" els sistemes que la tenien totalment externa*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Oficina tècnica pròpia												
Oficina tècnica externa												
Classificació	B	C	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A

Els **documents de suport** també són útils en el projecte. Si són de fàcil accés es tindran en compte en la etapa inicial del projecte. Si són molt complets seran útils en les etapes finals. (*"A" les indústries amb documents tècnics acreditats, "B" amb catàleg tècnic, "C" amb publicacions tècniques comercials i "D" amb documents interns confidencials*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Document tècnic acreditat												
Catàleg tècnic												
Publicació tècnica comercial												
Documents interns												
Classificació	B	B	C	D	D	D	D	C	B	B	D	A

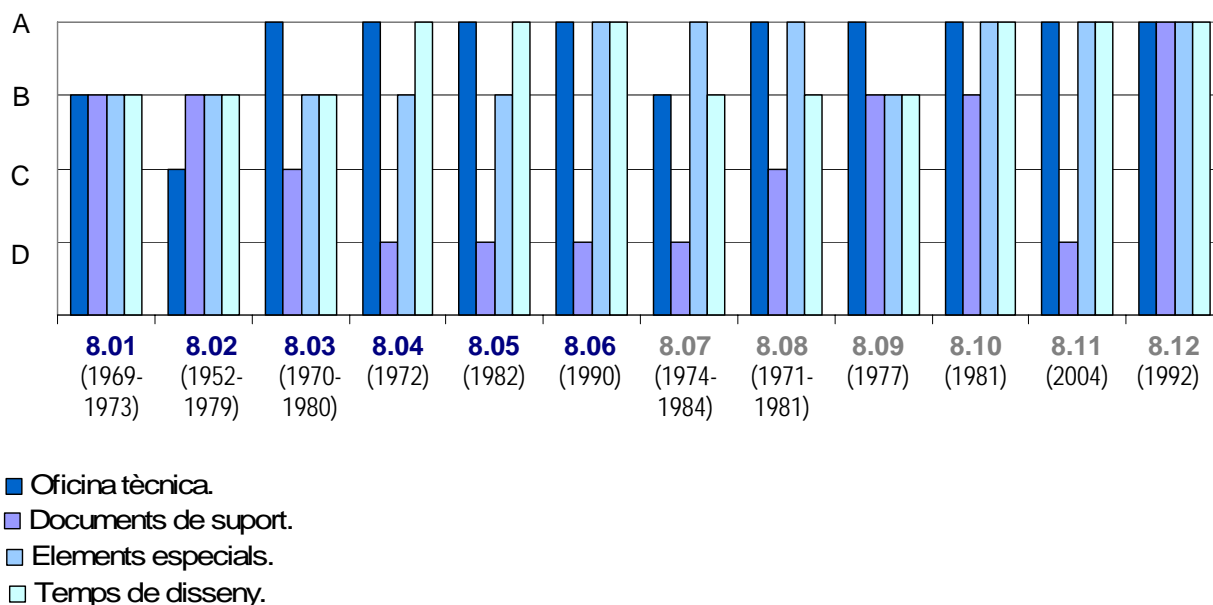
Hi ha indústries que han tingut la capacitat de dissenyar i produir **elements especials** per al sistema, a més dels elements estàndard. (*"A" indústries que tenien la capacitat de produir elements especials i "B" les indústries que no tenien aquesta capacitat*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Elements especials												
Classificació	B	B	B	B	B	A	A	A	B	A	A	A

Així mateix, és important el procés de projecte i càlcul que fa la indústria, el qual supervisa el projectista. Aquest **temps de disseny industrial** és òptim que sigui mínim, alhora que és important que consisteixi en un treball acurat. (*“A” indústries que podien finalitzar el disseny en 1 o 2 mesos i “B” les que ho podien finalitzar en 3 o 4 mesos*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
1-2 mesos												
3-4 mesos												
5-6 mesos												
7-8 mesos												
Classificació	B	B	B	A	A	A	B	B	B	A	A	A

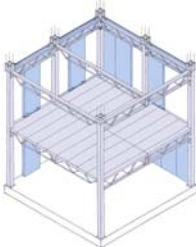
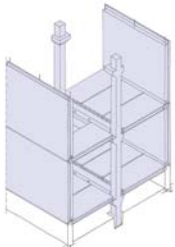
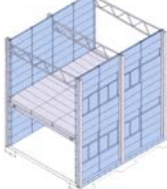



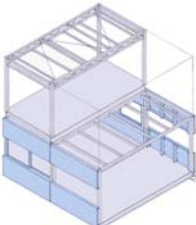


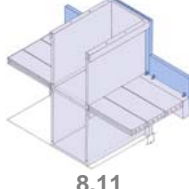
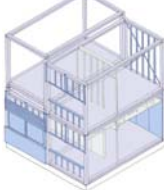
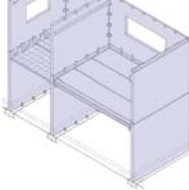
Aquestes últimes 4 característiques permeten definir el suport tècnic, el qual realitza cada indústria en el projecte i l'execució d'una obra. El suport tècnic més complet ha estat el dels sistemes pesats utilitzats per construir les escoles de la segona etapa, i el més incomplet és el dels sistemes lleugers contemporanis.



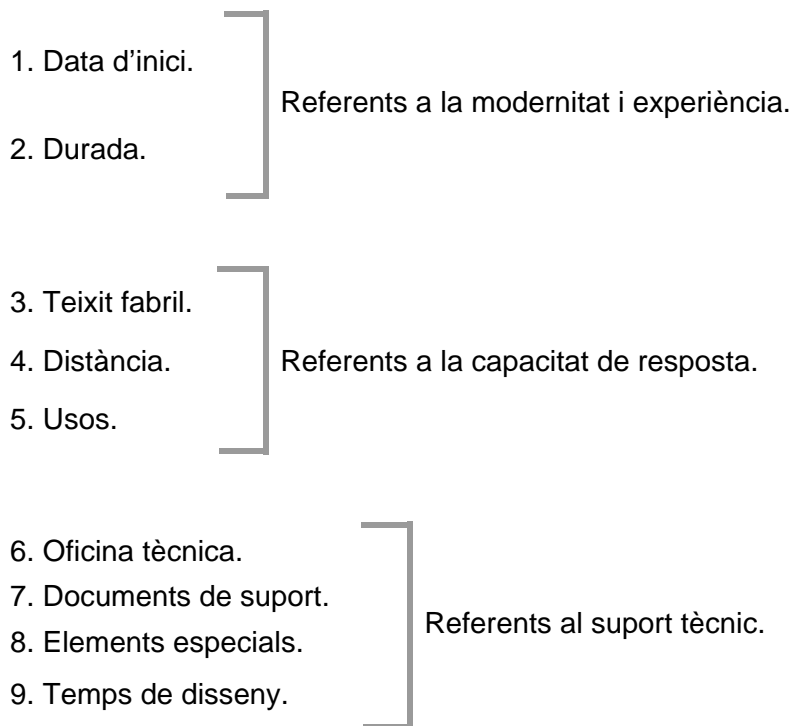
Gràfica [3] en la qual es comparen l'oficina tècnica, els documents de suport, els elements especials i el temps de disseny de cada sistema.

El següent esquema resumeix les característiques estudiades sobre les indústries, que s'han analitzat en les taules i gràfiques d'aquest apartat.

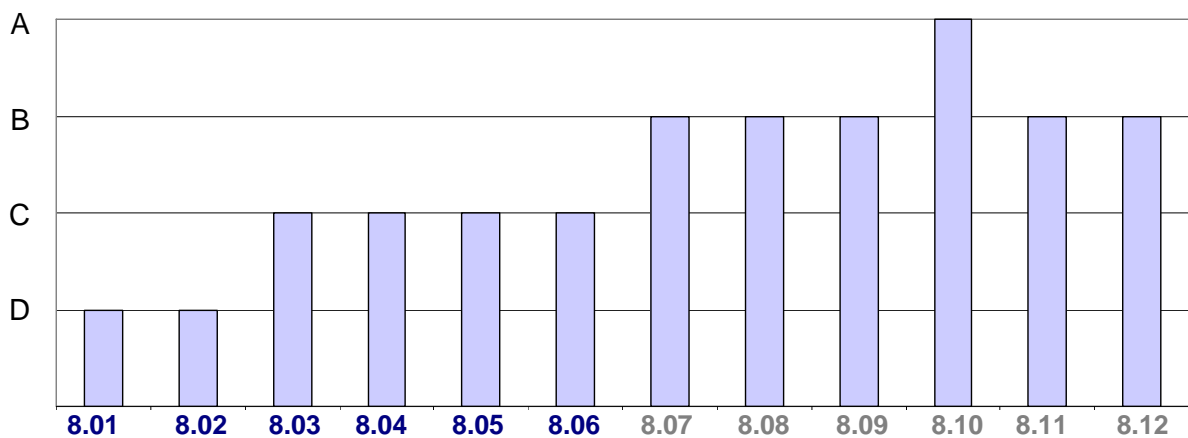
RESUM DE LES 12 INDÚSTRIES

<p>Origen de 1952 a 1980</p> <p>8.01, 8.02, 8.03, 8.04, 8.07, 8.08, 8.09</p>	<p>Origen de 1981 a 2004</p> <p>8.05, 8.06, 8.10, 8.11, 8.12</p>	 <p>8.01</p>	 <p>8.07</p>
<p>Durada de 4 a 20 anys</p> <p>8.01, 8.03, 8.06, 8.07, 8.08, 8.11, 8.12</p>	<p>Durada de 21 a 36 anys</p> <p>8.02, 8.04, 8.05, 8.09, 8.10</p>	 <p>8.02</p>	 <p>8.08</p>
<p>Tenen un centre de producció</p> <p>8.01, 8.02, 8.03, 8.04, 8.05, 8.06, 8.09, 8.11, 8.12</p>	<p>Tenen més d'un centre de producció</p> <p>8.07, 8.08, 8.10</p>	 <p>8.03</p>	 <p>8.09</p>
<p>De 22 a 500 km de l'àrea de Barcelona</p> <p>8.01, 8.02, 8.07, 8.08, 8.09, 8.10, 8.11</p>	<p>De 501 a 1032 km de l'àrea de Barcelona</p> <p>8.03, 8.04, 8.05, 8.06, 8.12</p>	 <p>8.04</p>	 <p>8.10</p>
<p>Oficina tècnica pròpia</p> <p>8.01, 8.03, 8.04, 8.05, 8.06, 8.07, 8.08, 8.09, 8.10, 8.11, 8.12</p>	<p>Oficina tècnica exterior</p> <p>8.02</p>	 <p>8.05</p>	 <p>8.11</p>
<p>Document tècnic o comercial d'ús públic</p> <p>8.01, 8.02, 8.03, 8.08, 8.09, 8.10, 8.12</p>	<p>Només informació interna confidencial</p> <p>8.04, 8.05, 8.06, 8.07, 8.11</p>	 <p>8.06</p>	 <p>8.12</p>
<p>Temps de disseny industrial: 1 o 2 mesos</p> <p>8.04, 8.05, 8.06, 8.10, 8.11, 8.12</p>	<p>Temps de disseny industrial: 3 o 4 mesos</p> <p>8.01, 8.02, 8.03, 8.07, 8.08, 8.09</p>		

En resum, en aquest apartat s'han estudiat les següents 9 característiques de les indústries dels sistemes:



En el gràfic següent hi ha una valoració mitjana de les indústries dels sistemes, que permet comparar-les de forma general entre elles. Com ja s'apuntava en les valoracions parcials, les indústries dels sis sistemes pesats estudiats han estat més potents que les dels sistemes lleugers.



Gràfica [4] amb la classificació dels 12 sistemes segons les 9 característiques d'aquest apartat.

3.3. LA FABRICACIÓ.

En aquest apartat, s'estudia la **producció** de cada sistema mitjançant l'anàlisi de 8 punts clau: les fases del procés de fabricació, el grau d'industrialització de les matèries primeres, el grau d'acabat dels components, els operaris, la maquinària, la precisió, les limitacions dimensionals de l'estructura, i les limitacions dimensionals de la façana.

Les **fases del procés de fabricació** han estat diverses. Les principals diferències entre les indústries han estat: el material i el producte que treballaven, l'automatització de la maquinària i el nombre d'operacions manuals. En la valoració s'ha considerat que: la fabricació és més eficient quan s'ha fabricat de forma automatitzada amb el mínim d'operaris. (*"A" tenien totes les fàbriques mecanitzades, "B" tenien factories automatitzades i tallers manuals, "C" tenien factories mecanitzades i tallers, i "D" només tenien tallers manuals*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Fàbrica plafons sandvitx												
Fàbrica estructura F.A.P. i/o F.P.P.												
Fàbrica plafons F.A.P. o G.R.C.												
Taller metàl·lic												
Construcció manual a taller												
Classificació	C	C	B	C	B	D	A	C	A	A	A	C

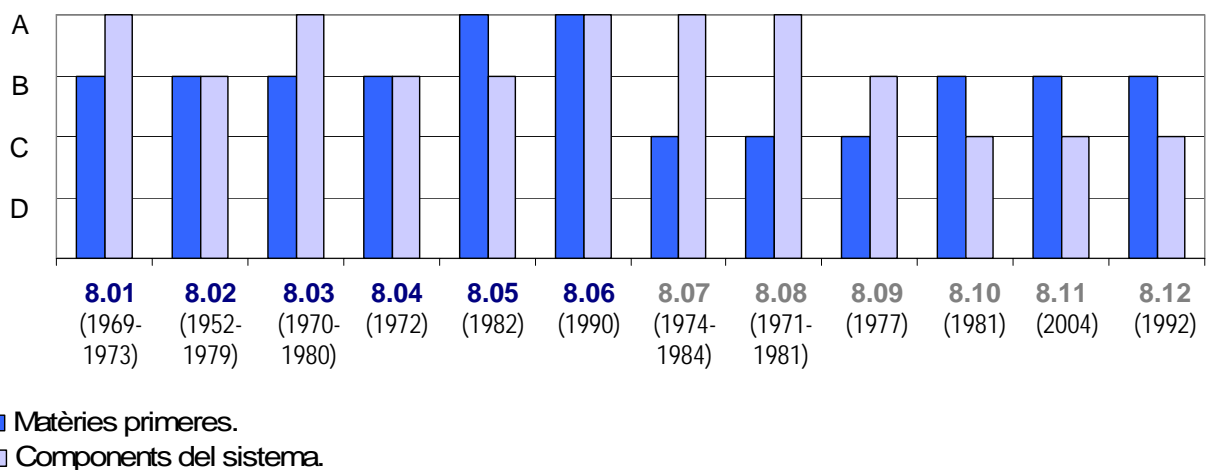
Les **matèries primeres** per a la fabricació han tingut diferents graus d'industrialització, però es poden classificar en semiproductes conformats i matèries amorfes. La majoria dels sistemes lleugers han emprat matèries primeres d'ambdues classes, però els pesats només n'han utilitzat d'amorfes. (*"A" tenien indústries que utilitzaven semiproductes, "B" que utilitzaven semiproductes i matèries amorfes, i "C" que només utilitzaven matèries amorfes*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Semiproductes conformats												
Matèries amorfes												
Classificació	B	B	B	B	A	A	C	C	C	B	B	B

El grau d'acabat i la quantitat de prestacions dels **components** dels sistemes han tingut una evolució irregular en el temps. En els sistemes de la primera etapa era alt, mentre en la segona etapa hi havia sistemes pesats que tenien uns components senzills, amb menys prestacions que els seus antecessors. (*"A" tenien indústries que produïen uns components amb un grau d'acabat molt alt, "B" un grau d'acabat alt i "C" un grau d'acabat mitjà*).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Molt alt	■		■			■	■	■				
Alt		■		■	■				■			
Mitjà										■	■	■
Classificació	A	B	A	B	B	A	A	A	B	C	C	C

El grau d'industrialització de les matèries primeres i el grau d'acabat dels components estan directament relacionats en la majoria de sistemes.



Gràfica [1] en la qual es comparen el grau d'industrialització de les matèries primeres i el grau d'acabat dels components, que utilitzen i produeixen les indústries de cada sistema. (*"A" és el grau major i "C" és el grau menor*).

Les indústries estudiades funcionaven amb gran quantitat d'**operaris per a la fabricació**, els quals podien tenir diversos graus de formació i ambients de treball. Hi havia operaris amb una formació elevada com ferrers, fusters...; que normalment desenvolupaven les seves activitats en tallers de transformació confortables. En canvi, hi havia operaris amb una formació inicial baixa, que anaven ampliant amb coneixements específics de la indústria. Aquests podien treballar en fàbriques amb molt soroll, molta pols, temperatura exterior...

En aquesta tesi, s'ha considerat que les condicions de treball dels **operaris de la fabricació** ha influït en el resultat, que ha millorat si la formació dels operaris era elevada i l'ambient de treball confortable. (“A” tenien indústries amb operaris de formació elevada en ambients de treball confortables, “B” amb operaris de formació diversa en ambients òptims, “C” amb diversitat de formacions d’operaris i ambients diferents, i “D” amb operaris que podien tenir una formació inicial baixa en ambients de treball poc confortables).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Grau de formació												
Elevada												
Inicial baixa												
Ambient de treball												
Taller												
Fàbrica												
Classificació	C	C	B	B	A	A	D	D	D	D	D	D

La **maquinària** ha estat directament relacionada amb el procés de fabricació i l'època, però en el període que recorre la tesi, la maquinària per produir sistemes lleugers s'ha automatitzat més que per fabricar els pesats. (“A” tenien indústries que utilitzaven màquines de control numèric, “B” tenien indústries que feien servir maquinària del sector del formigó i “C” indústries que només utilitzaven aparells manuals senzills).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Màquines de control numèric.												
Formigonera, motlles, pistes...												
Perfiladora, plegadora...												
Pont grua												
Carret elevador												
Aparells manuals												
Classificació	B	B	C	B	A	A	B	B	B	B	B	B

Cada indústria ha fabricat amb una **precisió**, que era diferent segons si es treballava amb formigó o acer, sent de centímetres i de mil·límetres respectivament. (“A” eren indústries amb una precisió de mil·límetres en tots els components, “B” amb una precisió de mil·límetres o centímetres, i “C” amb una precisió de centímetres en tots els components).

Precisió	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Estructura	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Façana	cm	cm	mm	cm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Classificació	B	B	A	B	A	A	C	C	C	C	C	C

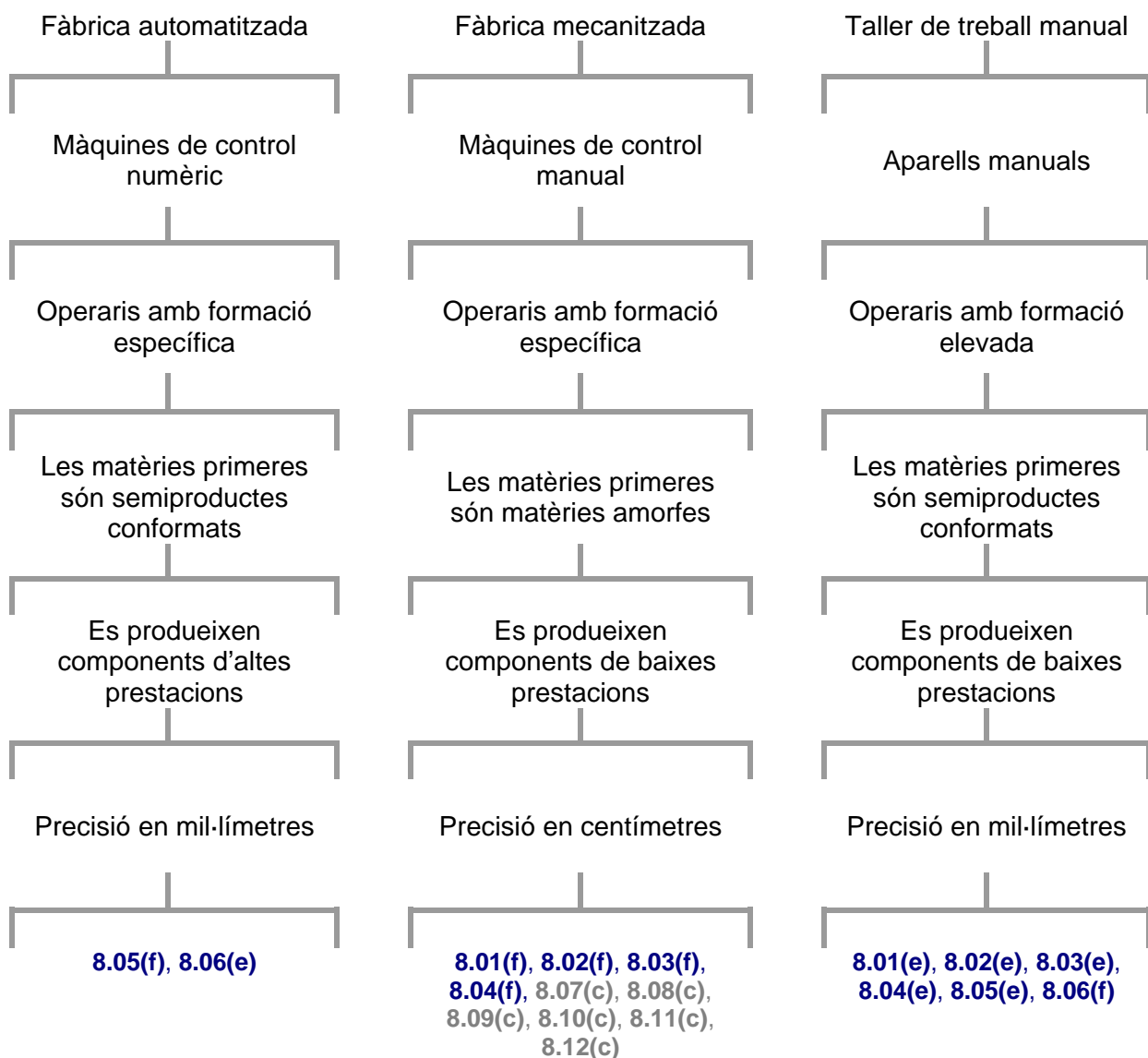
Per últim, la fabricació i el transport de cada sistema han comportat unes **limitacions dimensionals**, de les seves parts i components. Els components d'estructura menys limitats són els dels sistemes lleugers utilitzats en la segona etapa, i els de façana menys limitats són els dels 6 sistemes pesats. (“A” tenen uns components amb les limitacions dimensionals quasi il·limitades del transport especial, “B” amb les limitacions de la regulació del transport per carretera, “C” amb les limitacions d'una fabricació amb màquines de grans dimensions, i “D” amb les limitacions d'una fabricació de maquinària petita).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Limitacions d'estructura (m)												
Transport especial (3-3,5 x 3 x 12)												
Transport (3 x 2,4 x 12)												
Fabricació (2,4 x 5,6 - 12)												
Fabricació (0,5-0,9 x 1,5-6)												
Classificació	D	D	D	A	A	A	C	C	C	C	B	C
Limitacions de façana (m)												
Transport especial (3-3,5 x 3 x 12)												
Transport (3 x 2,4 x 12)												
Fabricació (2,4 x 5,6 - 12)												
Fabricació (0,5-0,9 x 1,5-6)												
Classificació	D	D	D	A	C	D	B	B	C	B	C	A

En l'esquema següent es resumeixen les taules i gràfiques d'aquest apartat. Es conclou que hi ha tres tipus de fabricació ben diferenciats, de més a menys avançada tecnològicament.

Hi ha dos sistemes lleugers que produeixen les façanes en fàbriques automatitzades, però la resta les fabriquen mecanitzades o en tallers de treball manual. I les estructures d'aquests sistemes lleugers es produeixen majoritàriament en tallers manuals. En canvi, els sistemes pesats es produeixen tots en fàbriques mecanitzades, tan l'estructura com la façana.

RESUM DE LA FABRICACIÓ

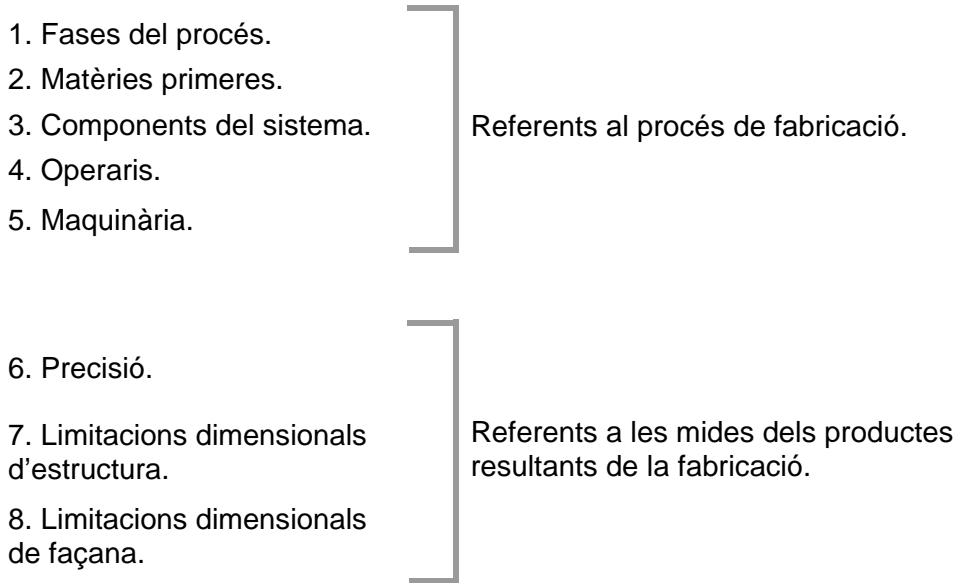


(c) Sistema complet, és a dir la fabricació de l'estructura i el tancament de façana del sistema.

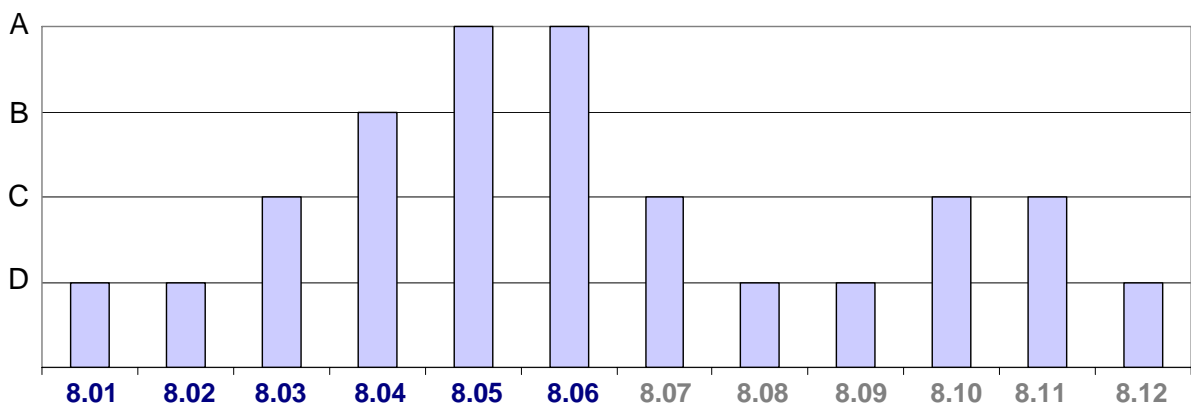
(e) Fabricació de la part estructural del sistema.

(f) Fabricació de la part de tancament de façana del sistema.

En resum, en aquest apartat s'han estudiat els següents 8 aspectes de la producció:



Si fem la mitjana de totes les valoracions dels 8 aspectes estudiats, es posa de manifest que la fabricació dels sistemes lleugers ha millorat en els 2 períodes de la mostra. En canvi, els sistemes pesats només han millorat en alguns aspectes, però en d'altres la producció no ha evolucionat. Per exemple: la maquinària, el grau de formació i les condicions de treball dels operaris són similars en els sistemes pesats dels dos períodes. Fins i tot, hi ha el sistema pesat "8.07" -de la primera etapa- que té característiques superiors a la mitjana.



Gràfica [4] amb la classificació dels 12 sistemes segons les 8 característiques d'aquest apartat.

3.4. LA POSADA EN OBRA.

En aquest apartat s'estudia la posada en obra dels 12 sistemes, que s'inicia amb el **transport**. La majoria de sistemes han utilitzat "camions normals" i els components s'han transportat en horitzontal i apilats. Amb "camions góndola" s'han transportat verticalment els plafons de façana. Amb "camions góndola i cotxe pilot" s'han transportat grans plafons i mòduls tridimensionals que requerien de transport especial. Com a excepció, el sistema 8.06 ha utilitzat "plàstics opacs negres" per protegir els mòduls. ("A" quan el transport era especial i protegit, "B" quan el transport era especial, "C" quan s'utilitzaven camions góndola, i "D" quan només s'utilitzaven camions normals).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Elements protegits amb plàstics opacs												
Especial (camió góndola, cotxe pilot)												
Camions góndola, elements drets												
Camions normals, elements apilats												
Classificació	D	D	D	B	D	A	C	C	D	C	C	B

La segona part de la posada en obra és la recepció de les peces al solar, durant la qual hi ha sistemes que han necessitat **aplec** a l'obra. És millor que no hi hagi aplec, perquè les peces es traginen menys i hi ha menys probabilitats de deteriorament. L'aplec es feia sobretot en els sistemes de la primera etapa, i en els altres s'ha conservat només per als plafons de F.A.P. ("A" quan el transport era especial i protegit, "B" quan el transport era especial, "C" quan s'utilitzaven camions góndola i normals, i "D" quan només s'usaven camions normals).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Aplec a l'obra												
Grau d'aplec	Sí.	Sí.	Sí.	No.	No.	No.	Sí.	Sí.	No.	Part.	No.	Part.
Classificació	C	C	C	A	A	A	C	C	A	B	A	B

Des de la recepció les peces s'utilitzava una **grua** per manipular-les, que era millor que fos al màxim de senzilla per reduir el consum d'energia en l'elevació i la col·locació. Els sistemes lleugers de la primera etapa van utilitzar una grua torre, però després es va utilitzar una grua mòbil. (“A” quan s'utilitzava una grua torre, “B” quan s'utilitzava una grua mòbil).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Grua per la recepció i muntatge												
Grua torre												
Grua mòbil												
Classificació	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B

El muntatge ha necessitat mà d'obra en els 12 sistemes, que es pot diferenciar segons la formació dels **operaris**: hi hagut soldadors amb formació elevada, i muntadors amb formació específica del sistema. És curiós com s'ha invertit el grau de formació dels operaris pels sistemes lleugers i pesats en els dos períodes. En la primera etapa, els sistemes pesats utilitzats requerien majoritàriament d'operaris de formació elevada i els sistemes lleugers no, i en la segona etapa ha estat el contrari. (“A” quan els operaris de muntatge podien tenir una formació inicial baixa però específica, “B” quan havien de tenir una formació elevada).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Grau de formació												
Elevada												
Específica												
Classificació	A	A	A	B	A	B	A	B	B	A	A	B

Cada sistema ha requerit d'un **temps d'execució** diferent per muntar escoles com les de la mostra. Aquest temps de muntatge és important que sigui mínim, però muntant el màxim de parts de l'edifici. El temps d'execució depèn de les parts de l'edifici que resol cada sistema. Per exemple, per muntar els edificis que s'estudien en el “Novè capítol” de la “Segona Part”, els sistemes que completaven estructura i façana tardaven de 2 a 3 mesos, i els que resolien el conjunt de l'edifici tardaven de 2 a 8 mesos segons el nombre de processos fets a l'obra.

(“A” quan es muntava tot l’edifici excepte els fonaments en 2 o 3 mesos; “B” quan es muntava l’estructura i la façana en 1 o 2 mesos, “C” quan es muntava l’estructura i la façana en 2 o 3 mesos, i “D” quan el muntatge es feia en més de 3 mesos).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Temps muntatge (mesos)	3	2-3	2-3	6	4-5	2-3	2-3	2	2	1-2	2	2,5
Classificació	C	A	C	D	D	A	A	B	B	B	B	C

El **muntatge** es pot separar en fases, que en aquest estudi són: els treballs previs, l’estructura, els treballs dels tancaments exteriors, i completar les instal·lacions i els interiors.

Els **treballs previs** són les operacions que es fan durant la preparació dels fonaments i abans de formigonar-los, per poder-hi unir els primers elements estructurals. El més senzill consisteix en deixar unes “barres o plaques”, que han d’estar ancorades a l’armadura per assegurar que estiguin al seu lloc. També és senzill encofrar “el calze” però aquest modifica les dimensions del fonament. En canvi, és més complex situar “els tubs de les beines”. En resum, és molt important que el sistema permeti diverses opcions de treballs previs, perquè així es pot adequar a diferents casos reals. (“A” quan el sistema tenia 3 solucions diferents per preparar els fonaments per l’estructura; “B” quan en tenia 2, i “C” quan en tenia una).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Situar i ancorar barres o plaques												
Situar tubs de les beines												
Situar encofrat perdut del calze												
Classificació	C	C	C	C	C	C	B	C	D	A	B	C

Seguidament es munta l’**estructura**, que comença amb l’arrencada des dels fonaments i segueix amb cadascuna de les plantes. Inicialment es col·loquen els primers elements portants, les peces del primer forjat i s’uneixen. No obstant, en els 3 sistemes lleugers de la segona etapa, els mòduls portaven els forjats incorporats, i per tant el muntatge era més ràpid i fàcil. En els sistemes de pilars, aquests eren multiplanta i feien 3 plantes d’alçada.

Els elements de l'**estructura** d'aquests 12 sistemes són: mòduls, murs, pilars, o una combinació d'aquests. En aquest últim cas el muntatge era més complex perquè s'havien de coordinar diferents tecnologies. ("A" és quan el muntatge de l'estructura es reduïa a col·locar mòduls; "B" quan s'havien de col·locar pilars multiplanta i forjats, "C" quan s'havia de col·locar un tipus d'element portants per planta, i "D" quan s'havien de muntar pilars i murs per planta).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Col·locar i unir els pilars cada 3 nivells												
Col·locar i unir mòduls cada nivell												
Col·locar i unir plafons cada nivell												
Col·locar i unir peces de forjat												
Apuntalar												
Classificació	B	B	B	A	A	A	D	C	C	C	D	C

Els **treballs dels tancaments exteriors** consistien en construir la coberta i la façana. La coberta es construïa a l'obra en els 12 sistemes, però els treballs de façana eren diferents en cadascun. En els sistemes més senzills de muntar només calia segellar les juntes entre els plafons, que ja venien ancorats a l'estructura des de fàbrica. En els més complicats s'havien de col·locar els plafons, construir el trasdossat i posar les fusteries. ("A" quan els treballs de façana es reduïen a segellar els plafons; "B" quan s'havien de muntar els plafons, "C" quan s'havien de muntar els plafons i les fusteries, i "D" quan s'havia de construir el trasdossat).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Construir in situ la coberta												
Muntar plafons de façana												
Segellar les juntes de façana												
Posar les fusteries												
Construir el trasdossat interior												
Classificació	C	C	D	D	B	A	C	C	D	D	D	D

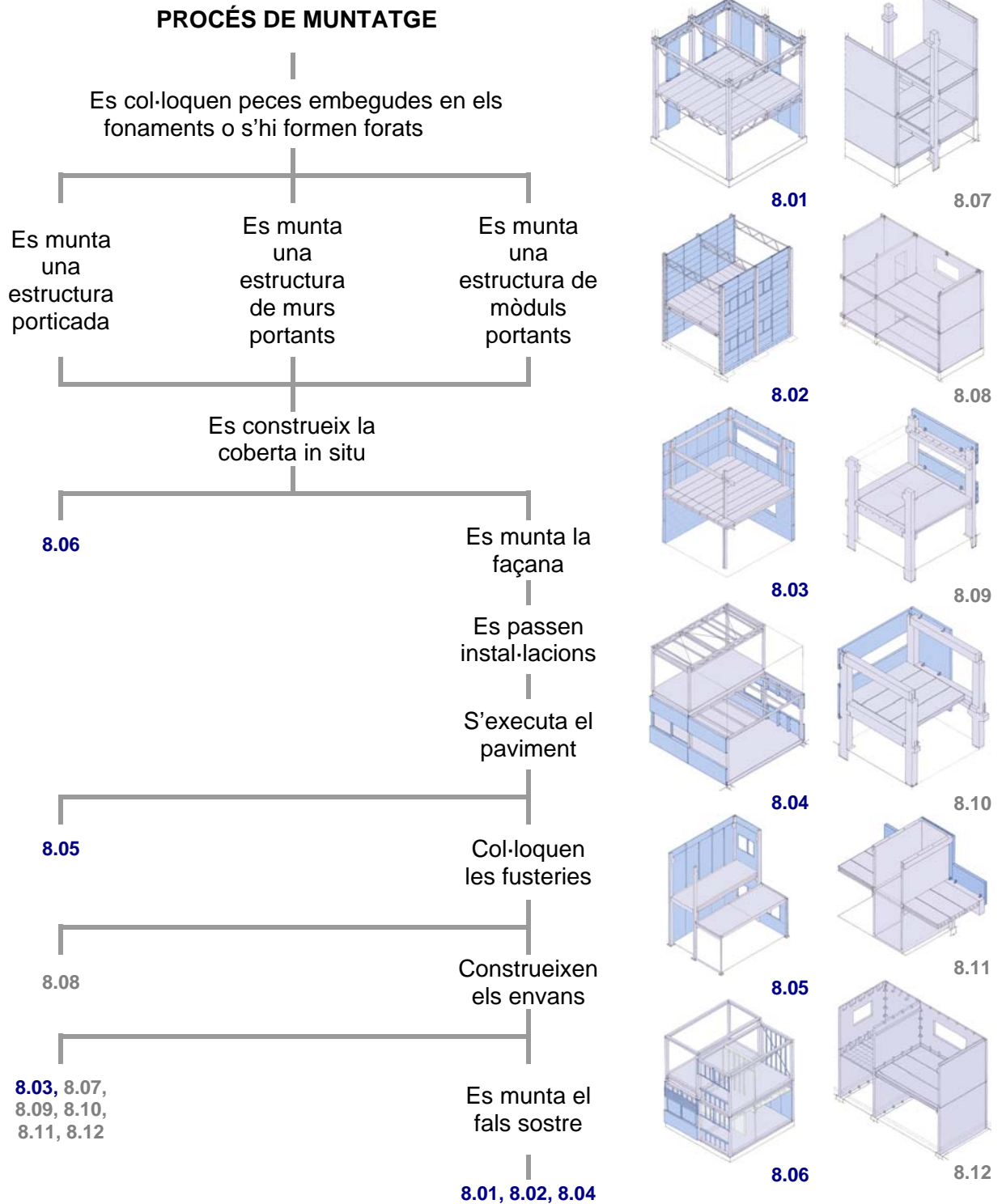
Per últim, es **completen les instal·lacions i els elements interiors**. En el sistema “8.06” només calia connectar les instal·lacions i segellar les juntes interiors entre els mòduls. En d'altres sistemes s'havien de passar instal·lacions, construir envans, executar paviment, i muntar el fals sostre. (“A” quan només s'havien de connectar les instal·lacions i segellar les juntes; “B” quan s'havien de passar els serveis i executar el paviment, “C” quan s'havien d'executar les instal·lacions i els interiors excepte el fals sostre, i “D” quan s'havia de fer tot).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Passar instal·lacions												
Connectar serveis												
Construir els envans												
Muntar el fals sostre												
Executar el paviment												
Segellar juntes												
Classificació	D	D	C	D	D	A	C	B	C	C	C	C

Després del muntatge, l'edifici s'utilitza fins que deixa de ser útil i és necessària la seva **desconstrucció**. Hi ha sistemes lleugers que es podrien desmuntar per poder-ne reutilitzar o reciclar els seus components. En canvi, hi ha sistemes pesats amb gran quantitat d'unions formigonades a l'obra, que farien necessària la demolició. En conseqüència només es podrien reciclar en part, i abans s'haurien de separar i classificar-ne les parts. (“A” és quan es podria reciclar i reutilitzar tot l'edifici; “B” quan es podria reciclar i reutilitzar la majoria, “C” quan s'hauria de demolir part de l'edifici, i “D” quan s'hauria de demolir en part i és difícil reciclar-lo).

	8.01	8.02	8.03	8.04	8.05	8.06	8.07	8.08	8.09	8.10	8.11	8.12
Reutilitzar els conformats												
Reciclar gran part dels components												
Reciclar d'alguns components												
Reciclar parts dels components												
Desmuntatge												
Demolició												
Classificació	B	C	C	A	A	A	D	D	D	D	D	D

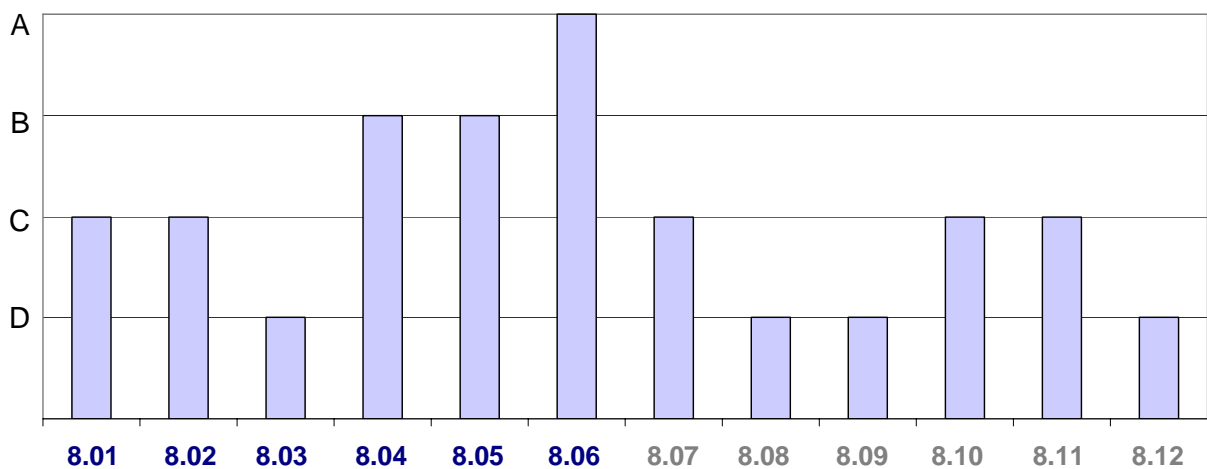
En l'esquema que es presenta a continuació, s'han resumit les idees bàsiques dels quadres i gràfics referents al procés de muntatge. En l'esquema, hi ha sistemes que es desmarquen abans perquè tenen un muntatge més ràpid i senzill, com a resultat d'uns components més complets.



En resum, en aquest apartat s'han estudiat les següents 10 característiques de la posada en obra:

- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| 1. Transport. | } | Referents al procés previ al muntatge. |
| 2. Aplec. | | |
| 3. Grua. | | |
| 4. Operaris. | } | Referents als recursos de muntatge. |
| 5. Temps de muntatge. | | |
| 6. Treballs previs. | } | Referents al procés de muntatge. |
| 7. Estructura. | | |
| 8. Tancaments exteriors. | | |
| 9. Interiors i instal·lacions. | | |
| 10. Desconstrucció. | | |

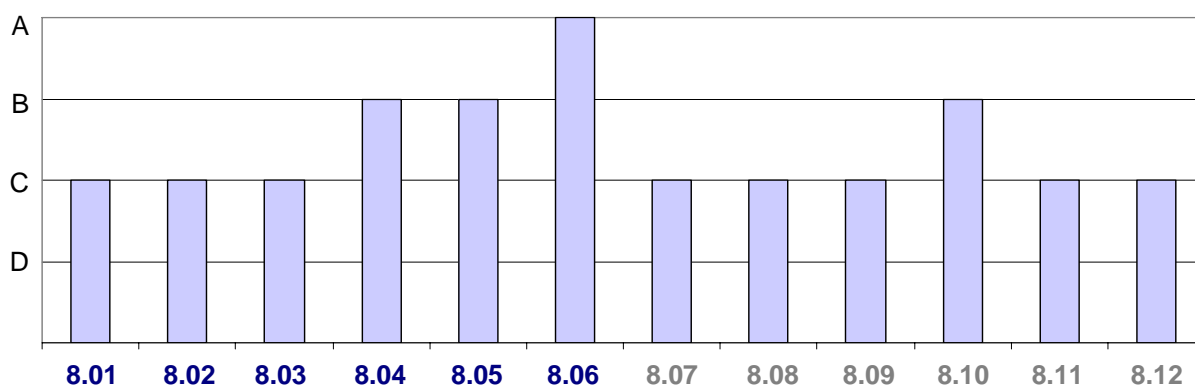
Si fem la mitjana, de totes les classificacions de les 10 característiques estudiades, es pot concloure que els sistemes lleugers han tingut un muntatge més fàcil i ràpid que els altres. També es pot deduir que la majoria de sistemes del segon període han tingut un muntatge millor que els del primer període.



Gràfica [4] amb la classificació dels 12 sistemes segons les 10 característiques d'aquest apartat.

3.5. CONCLUSIONS PARCIALES.

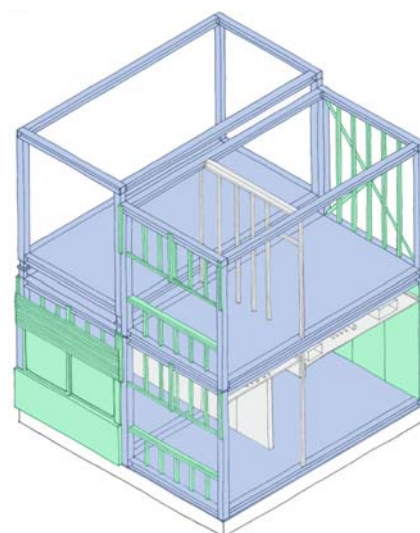
Per concloure, en aquest apartat exposarem els punts forts i els punts febles de cada sistema¹. El gràfic següent és un resum d'aquests punts, que té en compte l'estudi dels quatre apartats anteriors d'aquest capítol. La majoria de sistemes estan en el grup "C" de "sistemes que resolen en part els requisits", i només alguns solucionen còmodament la majoria de característiques estudiades. Però fins i tot aquests tenen defectes destacables, tot i estar classificats en els grups "A" i "B".



Gràfica [1] amb la classificació dels 12 sistemes prefabricats segons les característiques estudiades en els quatre apartats anteriors d'aquest capítol. ("A" és el sistema que millor resol tots els paràmetres estudiats, "B" els sistemes que ho resolen de forma correcte, i "C" els que només ho resolen en part).

El sistema "8.06" és el més ben classificat. Té una tecnologia registrada i dissenyada al nostre país, que permet prefabricar l'edifici complet, amb la limitació que només ha tingut una indústria a Astúries que el fabriqués. Té unes unions molt fàcils d'executar, que podrien millorar si fossin totes desmuntables.

L'oficina tècnica ha assessorat durant el projecte, però no disposa d'informació tècnica per verificar els primers esbossos. La producció ha tingut una maquinària avançada, però requereix molta mà d'obra, en un procés de construcció a taller. El muntatge ha estat ràpid i senzill, però té uns treballs previs laboriosos.



Axonometria del "8.06"

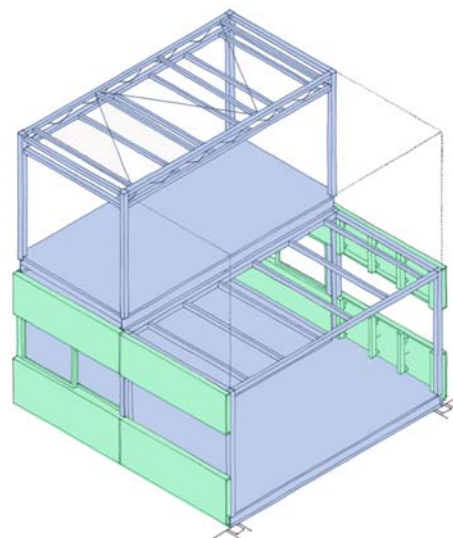
Dels 12 sistemes, aquest és el més indicat per a industrialitzar escoles, però té 2 punts crítics: la dependència a una única indústria i els treballs manuals de la fabricació.

¹ Es seguirà l'ordre de la classificació del gràfic [1], després de vigents a desapareguts, després de lleugers a pesats i finalment segons els codis.

El sistema “8.04” està classificat en la segona categoria, és a dir que resol bé els requisits. És dels sistemes més lleugers i amb més aplicacions, però només ha prefabricat edificis de fins a 3 plantes. Té uns components i juntes d'elevades prestacions, i unes unions fàcils d'executar.

Només hi hagut una indústria que el fabriqués, que de les estudiades és la que té una major durada. Ha tingut una oficina tècnica potent, que no ofereix documents de suport. En la fabricació hi hagut moltes fases manuals i poca automatització. El muntatge ha estat lent amb operacions complexes, algunes de les quals les fan operar especialitzats.

En conclusió, **és un sistema de referència, amb unes característiques tècniques destacades i una indústria amb molta experiència.** Es podria millorar automatitzant la fabricació i simplificant el muntatge, però la indústria l'està deixant d'utilitzar en favor d'un sistema com el “8.01”.

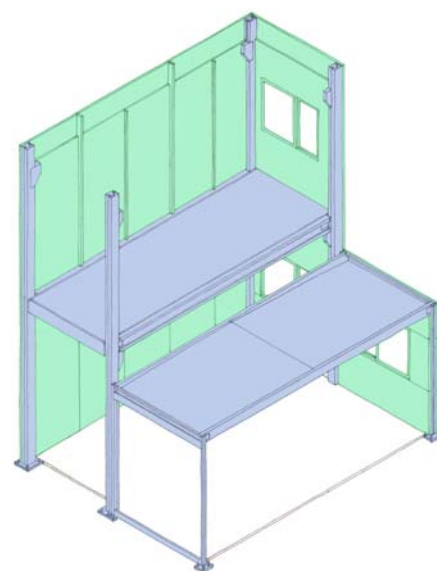


Axonometria del “8.04”

El “8.05” també està en la categoria de sistemes ben resolts. També és dels més lleugers però té poques aplicacions. En canvi, té les unions més fàcils de muntar i desmuntar de tots els sistemes de la mostra, que contrasten amb unes juntes que són molt senzilles.

Només ha tingut un fabricant, que té una oficina solvent per assessorar durant el projecte sense recolzar-se en catàlegs tècnics. La producció ha disposat de maquinària avançada però necessita operaris en diverses tasques. El muntatge ha estat senzill i la majoria de processos són reversibles, però moltes parts de l'edifici s'han de construir a peu d'obra.

Resumint, **aquest sistema destaca per tenir unes unions que permeten un fàcil muntatge i desmuntatge**, i és possible la **reutilització o reciclatge** de la majoria dels components l'edifici. La principal deficiència és que només prefabrica l'estructura i la façana, i ho fa amb un grau d'acabat baix.

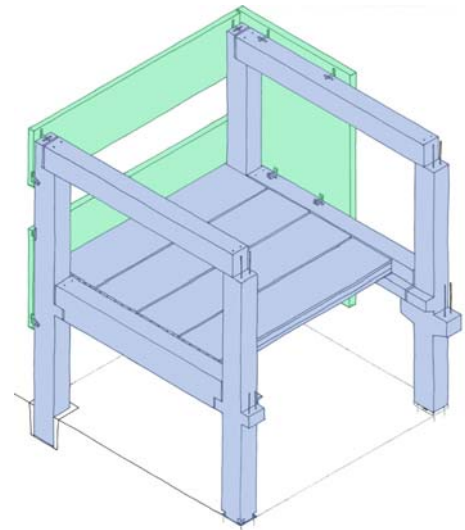


Axonometria del “8.05”

El “8.10” també està classificat en la segona categoria, perquè resol bé els requeriments. És el sistema que permet construir edificis de més alçada però també és dels més pesats. Pot utilitzar-se en edificis de tot tipus d’ús, dels quals només soluciona l’estructura i la façana. És el que han fabricat més indústries, que han tingut oficines tècniques que han assessorat mitjançant catàlegs de suport.

La fabricació ha tingut la majoria de processos mecanitzats, però lluny de la robotització necessita molts operaris. En el muntatge, que ha tingut processos humits i complexos, també s’ha necessitat mà d’obra. És un sistema que no es pot desmuntar i els components són difícils de reciclar.

El “8.10” té l’avantatge d’estar recolzat en un teixit industrial important, configurat per un conjunt de fàbriques i oficines consolidades no monopolitzades. No obstant, els components i les unions podrien tenir més prestacions, ser més fàcilment muntables, i ser desmuntables.

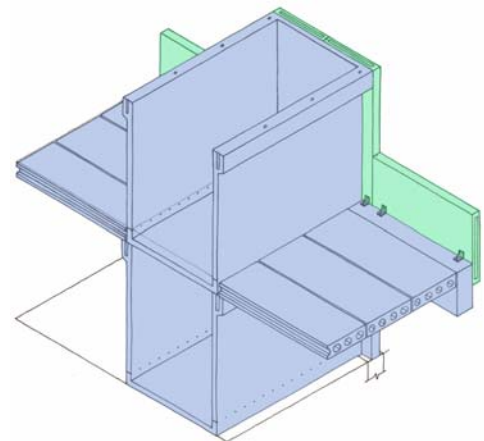


Axonometria del “8.10”

El sistema “8.11” està classificat en la tercera categoria, perquè resol pocs requisits. És dels més pesats i només permet prefabricar i muntar l’estructura i la façana. Les juntes estan ben resoltes, però els components tenen poques prestacions. Només ha tingut una indústria al darrera, que fa pocs anys que fabrica aquest sistema.

La producció està molt mecanitzada, però ha requerit de mà d’obra, la qual podia ser poc qualificada. La posada en obra ha tingut fases complexes, i la desconstrucció i posterior reciclatge no estan resolts.

Aquest sistema és molt interessant perquè l’estructura genera espais servits diàfans i espais servidors compartimentats. Tot i això, uns components més complets i unes unions reversibles l’optimitzarien. Aquest sistema no ha estat competitiu a causa del preu, i s’ha deixat d’utilitzar des del 2006.



Axonometria del “8.11”

El “8.12” també és de la categoria “C” de sistemes que resolen poc els requeriments. S’ha utilitzat per construir edificis de fins a 12 plantes, però és dels més pesats. Té uns components amb poques prestacions, i unes juntes soldades i formigonades. Només ha tingut una indústria que el fabricués, que té una oficina tècnica potent que ha elaborat un D.I.T.²

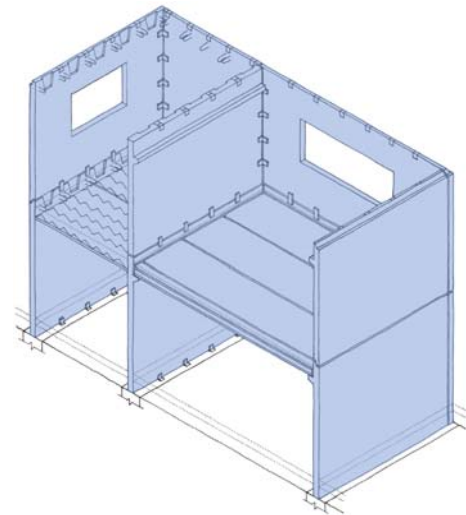
El procés de fabricació ha tingut una maquinària que necessita mà d’obra, la qual pot ser poc qualificada. El muntatge ha estat ràpid però té treballs manuals complicats, que requereixen de soldadors qualificats. A més a més, encara no s’han tingut en compte la desconstrucció ni el reciclatge.

És un sistema que **s’ha utilitzat molt, i es continua utilitzant tant com permet la factoria**. El seu planteig i documentació tècnica rigorosos contrasten amb uns components de mínims i una posada en obra complexa.

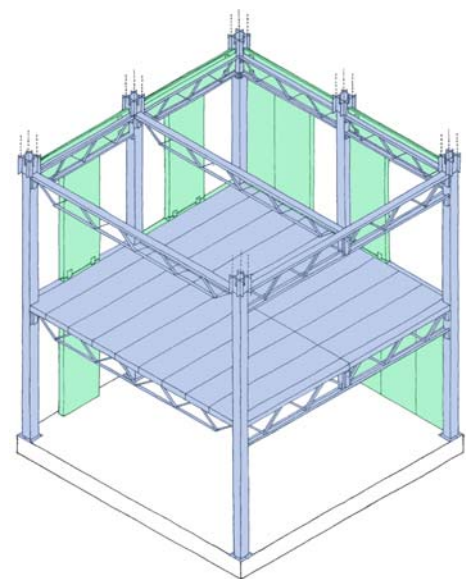
El sistema “8.01” també és dels que resol pocs requeriments. Era el més lleuger i estava modulats, però només permetia prefabricar l’estructura i la façana d’edificis de llums limitades. Alguns dels components tenien elevades prestacions per l’època, i les unions eren senzilles i reversibles. La indústria que el fabricava no era exclusiva del sistema, que si que tenia una oficina pròpia amb documents tècnics pel projecte.

La producció estava poc mecanitzada i necessitava soldadors. En canvi el muntatge no requeria mà d’obra qualificada però era lent i laboriós. No obstant, les unions permetien desmuntar l’edifici i reutilitzar-ne parts.

En resum, **era un sistema amb característiques tècniques exemplars**, que s’expliquen perquè era una versió del Clasp adaptada a la realitat del país. Tenia diverses deficiències, entre les quals un teixit industrial molt limitat va propiciar-ne la desaparició.



Axonometria del “8.12”



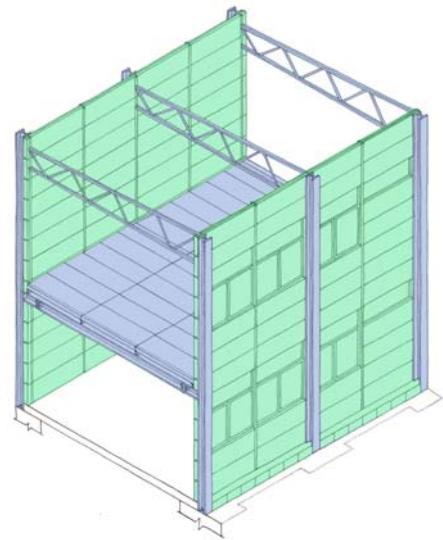
Axonometria del “8.01”

² Documento de Idoneidad Técnica. Document “A6” del Capítol “10. Bibliografia”.

El “8.02” també estaria a la categoria “C”. Era dels més lleugers, estava modulats i permetia prefabricar i muntar quasi el conjunt de l'edifici. La majoria d'unions eren cargolades, però els components i les juntes tenien poques prestacions. Només tenia una indústria, que tenia una oficina tècnica feble.

La fabricació estava molt mecanitzada pel moment, però requeria mà d'obra no necessàriament qualificada. El mateix succeïa amb el muntatge, el qual era ràpid però tenia fases entretingudes. És destacable que seria possible desmuntar diverses parts de l'edifici, perquè les unions eren reversibles.

Amb les seves característiques és difícil d'explicar perquè **es va utilitzar durant 27 anys**, però **de 1952 a 1970 va ser una de les poques opcions de construcció prefabricada, i segurament una bona opció pels requisits i la tecnologia de l'època.**

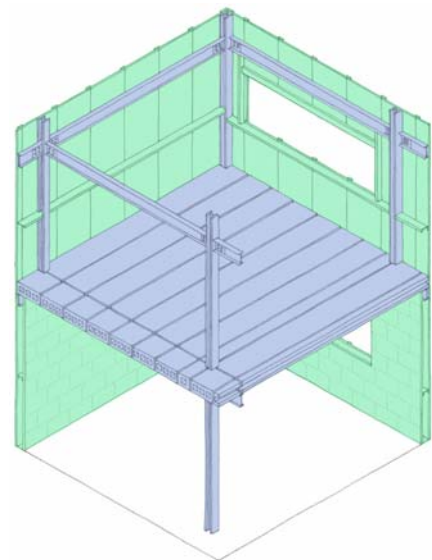


Axonometria del “8.02”

El sistema “8.03” també és de la tercera categoria. Estava modulats i tenia diverses aplicacions, però només es va utilitzar per edificis de fins a 3 plantes i llums limitades. La majoria d'unions eren cargolades, però les juntes eren poc fiables i els components molt simples. Només tenia una indústria a darrera, que tenia una oficina tècnica potent però que va durar poc.

La producció tenia algunes parts molt mecanitzades i avançades per l'època, però d'altres eren completament manuals. El transport era rudimentari i el muntatge lent, laboriós i amb processos humits. En conseqüència, només es podien desmuntar i reciclar alguns components dels edificis.

En resum, l'únic destacable d'aquest sistema era que utilitzava uns **plafons de façana sandvitx metàl·lics, que tenien elevades prestacions per l'època.** Aquests van ser possibles perquè la indústria era molt potent, sobretot en altres sectors com l'aeronàutica.

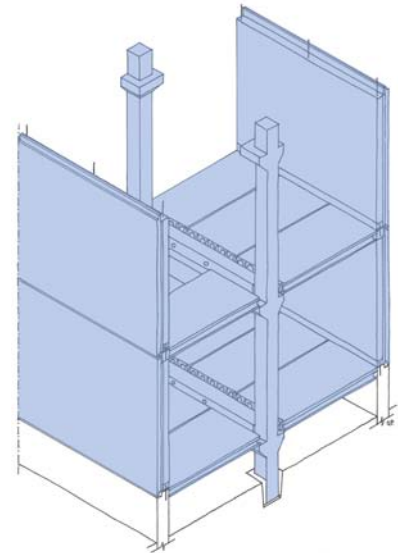


Axonometria del “8.03”

El “8.07” també estaria a la tercera categoria. Amb aquest sistema es van construir edificis modulats de fins a set plantes. Es va utilitzar en diferents usos, però només prefabricava estructura i façana. Tenia la majoria de components ben resolts, però les juntes i les unions eren humides. El teixit industrial estava format per dues fàbriques amb una oficina tècnica potent.

Les fases de fabricació estaven molt mecanitzades i els operaris eren poc especialitzats. El mateix tipus d'operaris podien fer la posada en obra, però els processos eren laboriosos i irreversibles, i feien impossible el seu desmuntatge.

En conclusió, **era un sistema que perfeccionava el Jespersen³ Danès i tenia una indústria molt capacitada. Estava pensat per a l'edificació i oferia una estructura flexible de pilars i murs.** Actualment, s'adequaria més a les necessitats dels arquitectes que d'altres sistemes vigents, i si va desaparèixer va ser sobretot per motius aliens al sistema.

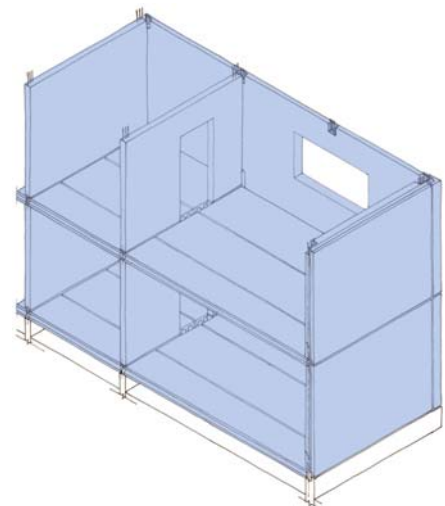


Axonometria del “8.07”

El “8.08” també és de la categoria “C”. Era un sistema basat amb la tecnologia L&N⁴, que es va usar en diferents tipus d'edificis de fins a 3 plantes d'altura. Tenia unes juntes i unions interessants però irreversibles. Hi havia dues factories que el produïen, que tenien una oficina tècnica completa.

La fabricació combinava maquinària avançada per l'època i tasques manuals. El muntatge era ràpid però complex, i requeria soldadors. Les unions irreversibles han fet necessari enrunar l'edifici quan aquest ha arribat el final de la seva vida útil.

En resum, aquest sistema no va assolir **les expectatives que va generar L&N en el nostre país durant aquells anys.** Una de les explicacions és que la tecnologia estava dissenyada per habitatges plurifamiliars, que segurament no va evolucionar prou per adaptar-lo a altres usos com el docent.



Axonometria del “8.08”

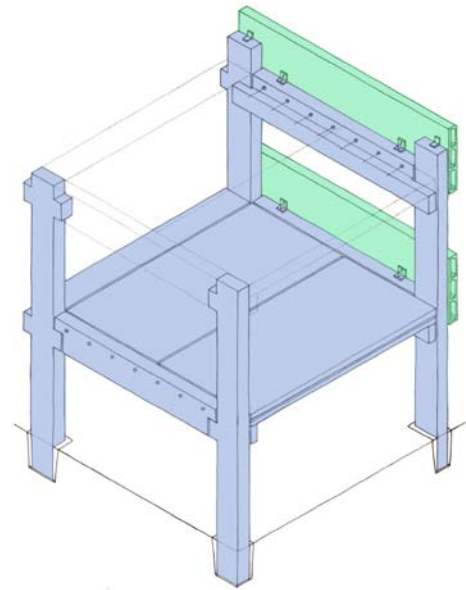
³ A l'apartat “8.07” hi ha més informació sobre aquest sistema i el seu origen.

⁴ A l'apartat “8.09” hi ha més informació sobre aquest sistema i el seu origen.

El sistema “8.09” és també de la tercera categoria. Aquest utilitzava la tecnologia Span Deck de l'època, amb la qual en el primer període es van construir escoles de fins a 3 plantes. Els components tenien poques prestacions, les juntes es resolien només amb material, i les unions eren amb formigó abocat a l'obra. La única indústria que el fabricava al nostre país tenia una oficina tècnica modesta, la qual ha anat adquirint experiència i elaborant documentació tècnica.

La fabricació estava mecanitzada en part i tenia diversos processos manuals. El transport estava poc protegit i el muntatge tenia processos laboriosos de formigonat i soldat amb mà d'obra especialitzada.

Per tant, **era un sistema deficient per a construir les escoles de la mostra, i des dels anys 1980 no s'ha tornat a utilitzar per aquest ús.** No obstant, és òptim per altres tipologies, sobretot les de grans llums i de poca alçada.



Axonometria del “8.09”

En resum, tots els 12 sistemes tenen característiques òptimes i d'altres pendents de millorar. Aquestes fan referència a: la tecnologia dels sistemes constructius, les seves indústries, la seva fabricació i la seva posada en obra⁵. **Algunes d'aquestes característiques justifiquen en part perquè alguns van desaparèixer, i d'altres permeten marcar un camí de millora pels que encara continuen en ús actualment.**

Per exemple, el sistema “8.06” és el millor per prefabricar les escoles de la mostra, però depèn d'una única indústria i té treballs de fabricació manuals. El “8.04” té una indústria amb molta experiència que caldria millorar automatitzant la fabricació. El sistema “8.05” és el que millor resol la desconstrucció, enfront del “8.10” que té una indústria més potent però no la resol. El “8.11” permetia uns espais molt flexibles però s'ha deixat d'utilitzar, al contrari del “8.12”, que segueix utilitzant-se per construir edificis compartimentats. El “8.01” es va abandonar a causa d'un teixit industrial molt dèbil, mentre el “8.02” i el “8.03” seguien fabricant una tecnologia menys evolucionada. En canvi, el sistema “8.07” tenia una indústria molt capacitada i estava optimitzat per l'edificació, però va desaparèixer per motius aliens al sistema. Finalment, el “8.08” i el “8.09” no eren una bona opció per construir escoles, però si per prefabricar altres tipologies d'edificis.

⁵ Aquesta informació es pot ampliar en els apartats anteriors d'aquest capítol, o en el “8” de la “Segona part”.