

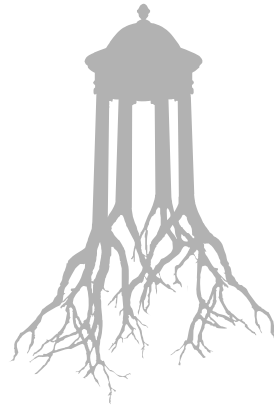
UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

→ **UPCGRAU**

Dels elements de construcció i el projecte →  
Comentaris sobre 18 casos d'estudi

José María González Barroso





UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



iniciativa  
digital politècnica  
Publicacions Acadèmiques de la UPC

→ **UPCGRAU**

Dels elements de construcció i el projecte →  
Comentaris sobre 18 casos d'estudi

José María González Barroso

Primera edició: juliol de 2018

Dibuix de la coberta: Lucía Quintela i José María Gonzalez, *de la Travertine House*

- © José María González, 2018
- © Iniciativa Digital Politècnica, 2018  
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC  
Jordi Girona 1-3,  
Edifici K2M, Despatx S103, 08034 Barcelona  
Tel.: 934 015 885  
[www.upc.edu/idp](http://www.upc.edu/idp)  
E-mail: [info.idp@upc.edu](mailto:info.idp@upc.edu)

DL: B 16117-2018  
ISBN: 978-84-9880-710-3

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només es pot fer amb l'autorització dels seus titulars, llevat de l'excepció prevista a la llei.

A la Maria Dolors, al Marc i a l'Esteve

En agraïment als meus companys professors  
Jaume Avellaneda i Josep Ignasi de Llorens

Per als estudiants d'arquitectura.





M'ha alegrat molt que en Josep M. González s'hagi decidit a escriure aquest llibre, fruit de la seva experiència com a professor a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB). D'entrada, un llibre que reflexiona sobre l'arquitectura i la seva construcció sempre és benvingut; en aquest cas, a més, s'hi afegeix l'enorme experiència de l'autor, com a docent i investigador, sobre els sistemes constructius amb què s'ha materialitzat l'arquitectura al llarg dels temps.

El professor González es recolza en un seguit d'obres d'arquitectura –divuit, en concret–, per tal d'explicar conceptes tecnològics, com ara la idea d'industrialització o la de sistema constructiu, així com diverses concepcions constructives en què la construcció i l'arquitectura van de bracet. La idoneïtat de les obres seleccionades es palesa en llegir el text; a més, els qui coneixem el tarannà d'en Josep M. sabem que haurà reflexionat molt, abans de decidir-se per cadascuna de les obres que hi apareixen: ni són les més modernes ni tampoc les més antigues; són, simplement, les que toquen, atenent el seu caràcter pedagògic.

M'hauria agradat haver après les primeres passes sobre la construcció a partir d'un text com aquest, que combina –com ha de ser– la construcció i l'arquitectura, amb la història i tot allò que està relacionat amb els conceptes que s'hi tracten: segur que m'hauria estalviat molt de temps. Per això recomano als estudiants d'arquitectura i d'enginyeria que se'l llegeixin, perquè és una manera magnífica d'introduir-se en les disciplines arquitectònica i constructiva. També recomano que el llegeixin els qui ja són arquitectes o enginyers, atès que el tema que s'hi tracta sovint l'oblidem, tan bon punt deixem l'àmbit acadèmic i ens endinsem en un món professional que busca preferentment l'optimització parcial d'algun aspecte de l'arquitectura i no la global del conjunt.

Jaume Avellaneda  
Doctor arquitecte  
Catedràtic del Departament de Tecnologia de l'Arquitectura (UPC)



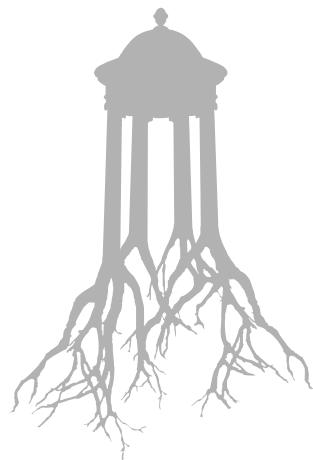


# Índex

<b>Presentació</b> .....	7
<b>Índex</b> .....	9
<b>Introducció</b> .....	13
<b>Tècniques i sistemes de construcció</b> .....	17
1. La tècnica del ram de paleta .....	19
Museu Nacional d'Art Romà. Mèrida. 1986 .....	19
2. La tècnica de formigonar.....	23
Crematori al parc de Kakamigahara. Gifu, 2005. ....	23
3. La construcció industrialitzada.....	27
Edifici d'habitatges i d'usos comercials. Rathenow, 1997. ....	27
4. La idea de sistema constructiu.....	31
Casa de Marie Short. Dempsey, Austràlia, 1975 i 1981 .....	31
<b>Elements de construcció</b> .....	35
5. Estructura de parets .....	37
Travertine House. Nova York, 1962 .....	37
6. Estructura de pòrtics .....	41
Casa Hopkins. Londres, 1976. ....	41
7. El sostre .....	45
Galeria d'Art i Centre de Disseny. Universitat de Yale, 1953. ....	45
8. La façana-estructura (1) .....	49
Edifici de MediaPro. Barcelona. 2008. ....	49
9. La façana-estructura (2) .....	53
Edifici per a usos diversos. Frankfurt, 2010. ....	53
10. La façana convencional .....	57
Edificis d'habitatges a la Vila Olímpica. Barcelona, 1992. ....	57
11. La façana ventilada de fàbrica de maó .....	61
Biblioteca de la Queen Mary University. Londres, 1988. ....	61
12. La façana de full exterior lleuger .....	65
Edificis de la Cité Internationale. Lió, 2006. ....	65
13. La façana amb aïllament tèrmic per l'exterior .....	69
Edifici d'habitatges a Vallecas. 2010. ....	69
14. La finestra .....	73
Casa Malaparte. Punta Massullo. Isla de Capri. 1937. ....	73



15.	La protecció solar .....	77
	Edifici vertical ITAIM. São Paolo, 2014.....	77
16.	La coberta inclinada.....	81
	Casa de Te Boa Nova. Matosinhos. Portugal, 1958.....	81
17.	Coberta plana transitable.....	85
	Escola infantil a Fuji. Japó, 2007. ....	85
18.	La coberta de xapa metàl·lica.....	89
	Palau de Justícia. Estrasburg, 2014. ....	89
<b>Epíleg</b> .....		<b>93</b>
<b>Annex: De los elementos de construcción y el proyecto</b> .....		<b>97</b>
(traducció al castellà del text)		
<b>Bibliografía</b> .....		<b>133</b>







# Introducció

En l'àmbit acadèmic, la reflexió al voltant de les idees de tècnica i projecte, matèria i forma és permanent. En aquest text, reclamem novament l'atenció sobre la relació de dependència entre elles, amb la convicció que continua essent actual i convenient.

La reflexió general subjacent en el text és que totes dues formen part inseparable del nucli de l'arquitectura i que la manca de relació entre ambdues idees és aliena als fonaments de l'ofici d'arquitecte. És per això que abordem la relació des de l'ofici, que entenem com el coneixement i l'habilitat pràctica per resoldre els problemes del projecte. I l'exposem mitjançant l'anàlisi de casos concrets.

Tractar de manera general aquesta relació complexa i oberta vol dir abordar qüestions de més abast, com el sentit de la tècnica en el projecte arquitectònic actual o el debat ideològic entre la tècnica i el projecte, la matèria i la forma, la idea i la raó. Aquest corpus teòric essencial, que forma part dels coneixements previs a l'anàlisi dels casos particulars que presentem, no és l'objecte d'aquest text.

## El mètode d'exposició

Un dels mètodes d'aprenentatge de l'arquitectura i de la construcció, sobretot en les etapes inicials de formació, és l'anàlisi raonada de casos modèlics, que tenen la capacitat de generar interès i de desenvolupar habilitats que van més enllà del cas particular. Casos en què la solució constructiva es produeix de manera exemplar mitjançant la síntesi dels coneixements tècnics necessaris i l'habilitat de la solució formal.

El mètode docent de l'estudi del cas, entès d'una manera que no exclou una formació disciplinària prèvia, s'utilitza amb voluntat didàctica en les assignatures de construcció i també en altres matèries tècniques més especialitzades de grau i màster. Quan s'explica la construcció amb tècniques industrialitzades, innovadores, de construcció sostenible i de baixa intensitat tècnica (*low-tech*), es fa servir com a mètode d'exposició i anàlisi de casos escollits acuradament.

## Els casos d'estudi

Els casos que presentem formen part dels que s'exposen a l'assignatura Construcció 1 de segon curs del Grau d'Arquitectura de l'ETSAB, dels quals s'han seleccionat els que glossen millor cada tema. Amb la finalitat que també siguin útils als alumnes de cursos avançats, es fa una anàlisi més completa de cadascun d'ells, que s'ha completat amb altres casos que han estat analitzats expressament per a aquest text.



Hem triat casos relacionats amb el programa de l'assignatura, que en síntesi desenvolupa les tècniques i els sistemes constructius habituals en edificis, principalment d'habitatges. L'àmbit de les tècniques i dels sistemes del que anomenem construcció convencional no té límits estrictes, i cada vegada s'assembla més a una tecnologia híbrida d'elements constructius executats amb tècniques de construcció "humides" i altres a base del muntatge de sistemes constructius industrialitzats "en sec," de manera que els límits dels temes estan en evolució constant. La manca de definició d'aquests límits no te per què ser un problema; al contrari, permet adaptar-se més fàcilment als canvis en les tècniques i els sistemes de construcció.

A la primera part del text, dedicada a les tècniques constructives, els casos d'estudi analitzats exposen:

- Dos casos sobre les tècniques característiques de la construcció humida, encara dominants en la construcció convencional: el ram de paleta i la posada en obra del formigó.
- Dos casos d'estudi que presenten la construcció industrialitzada i el concepte de sistema constructiu.

A la segona part del text, dedicada als elements de construcció, s'analitzen:

- Tres casos d'estudi que repassen l'estructura de parets i de pòrtics, i el sostre, i dos casos més sobre la façana-estructura contemporània.
- Els quatre casos següents tracten dels tipus de façana convencional; ventilada d'obra de fàbrica; amb fulla exterior lleugera; i amb un sistema d'aïllament tèrmic per l'exterior. Dos casos més tenen a veure amb el buit de la façana: la finestra i la protecció solar.
- Finalment, s'hi inclouen tres casos sobre la coberta: la coberta plana, inclinada i de xapa metàl·lica.

En conjunt, aquest llibre ofereix una primera col·lecció de casos que marquen una manera d'entendre la docència, que va més enllà de l'abstracció pròpia de la disciplina, per tal d'establir la relació imprescindible amb el projecte.

## **De la construcció i el projecte: un procés en evolució**

*De manera anàloga al fet que no es pot pensar sense paraules, no es pot concebre l'arquitectura sense la consciència sistemàtica que proporciona la construcció...*

*Helio Piñón\**

---

\* De la conferència dictada al Congrés Internacional sobre la Construcció de l'Arquitectura i el seu ensenyament, que tingué lloc a Barcelona l'abril de 2002.

La relació entre les idees d'arquitectura i de construcció és un argument característic de l'arquitectura moderna. També al llarg de la història de l'arquitectura, a cada època, hi ha hagut un element material o de procés constructiu que ha estat el subjecte principal de la relació.

A l'arquitectura tradicional, l'estructura era el subjecte de la relació entre les dues idees. Al segle XIX, encara que apareixen nous materials –acer i formigó armat–, que presenten característiques mecàniques diferents dels tradicionals, l'estructura continua essent el subjecte de la relació. Al segle XX, els processos i els sistemes industrialitzats modifiquen el paradigma de la tècnica per tal d'introduir-hi elements materials i de procés que passen a anomenar tecnologia. Als darrers quaranta anys, ha aparegut un subjecte nou que participa en molts elements constructius: es tracta de la concepció energètica de l'edifici. És el que alguns autors defineixen com el canvi de la concepció mecànica de la tècnica edificatòria a la del comportament termodinàmic de l'edifici.

En definitiva, la relació entre les idees de tècnica i projecte és un tema de la teoria i pràctica del projecte en evolució constant. Encara que convivim amb nous i potents desenvolupaments tecnològics, amb formes productives i models constructius nous, la relació estreta entre les dues idees és encara avui una bona estratègia productiva per a la societat sostenible –o potser millor durable (com en francès), terme més proper a la nostra idea de construcció.



**Tècniques i sistemes de construcció**



→ 1



# La tècnica del ram de paleta

Museu Nacional d'Art Romà. Mèrida. 1986

Arquitecte: Rafael Moneo

## L'edifici

El museu s'edifica sobre les ruïnes d'edificis construïts durant l'etapa de l'imperi Romà a Mèrida, que anaven a quedar al descobert per mostrar el que havia estat el moment més rellevant del passat de la ciutat.

La decisió tècnica que determina el projecte del museu és, sens dubte, l'adopció del sistema constructiu de parets paral·leles d'obra de fàbrica. La utilització del maó ceràmic és una manera material d'evocar el passat del contingut arqueològic que s'exposa a l'edifici. Els procediments i la tècnica constructiva que es fan servir en l'execució tenen en compte la tradició romana.

El projecte de l'edifici no es planteja com una construcció mimètica del passat, perquè es resol des de la concepció moderna de l'arquitectura i de la tècnica. Aquest és el cas de la solució constructiva de la coberta de lloses planes, alternades amb àmplies claraboies, allunyades de les solucions clàssiques de volta o cúpula.

## El ram de paleta

És la tècnica de construcció amb materials petris de mida petita. Els materials poden ser naturals, com les pedres, o artificials, com els blocs de morters de calç o formigó, tot i que l'opció més emprada encara avui és la del maó ceràmic a cara vista o revestit. La massa i la imatge tectònica de l'element construït, paret o volta, és més evident quan el maó és a la vista i no queda revestit per un arrebossat o un aplacat. La qualitat de l'aspecte i la durabilitat de la construcció de l'obra de fàbrica depenen de la qualitat dels materials i de l'habilitat del paleta, com succeeix en les tècniques artesanes.

Perquè l'obra de fàbrica funcioni com un element constructiu unitari, ha de ser cohesiva i estar ben travada. Per ser cohesiva, és a dir, mantenir el màxim contacte entre les peces i el morter, el paleta ha de ser hàbil a l'hora de col·locar amb força el maó sobre el morter per tal d'assolir l'adherència, i deixar-lo en la posició correcta a fi de mantenir la verticalitat i l'horizontalitat de les juntes. Per aconseguir una obra ben travada, el paleta ha d'ordenar la posició dels maons de manera que l'element construït resti el més lligat possible, disposant prou peces de través perpendiculars al pla de la paret.



## Les parets del museu

Les parets estan construïdes a mena d'emplectum romà, format per parets exteriors de maó a cara vista i un farciment interior de formigó armat fins a la primera planta i més amunt en massa, sense armar. L'estructura es construeix amb maó i formigó, tot emprant dues tècniques constructives diferents (ram de paleta i formigonat), de manera que la secció resultant és mixta i permet mantenir l'estabilitat d'unes parets tan esveltes. Tanmateix, no és fàcil preveure el comportament estructural del conjunt format per materials de rigidesa diferent. Mentre el maó determina la forma estructural i la seva imatge, el formigó (més rígid que l'obra de fàbrica de maó) assumeix la major part de les accions verticals.

Els junts de la paret no són els habituals del ram de paleta; els horitzontals són més prims i els verticals no estan plens de morter, de manera que tot just es veuen. La diferència de gruixos dels junts facilita que l'horitzontal domini la percepció propera de la superfície de la paret, que contrasta amb la seva forma esvelta.

El maó ceràmic massís és el material dominant a l'exterior i a l'interior de l'edifici. Es fabrica mitjançant una cocció artesana, en lots a diferents temperatures, cosa que facilita la varietat de tons. Els maons s'aparellen alternant el seu aspecte.

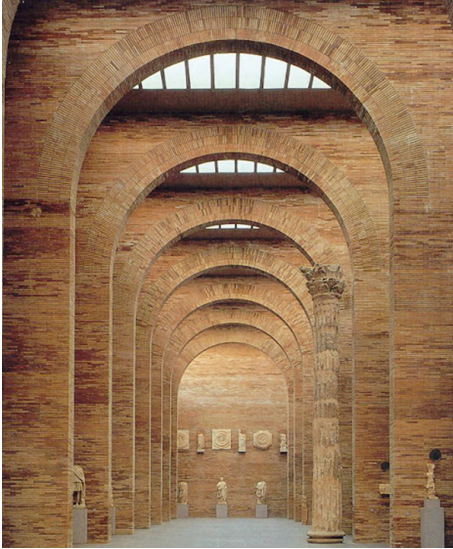
Una gran porta dona pas a l'eix principal de la nau i les sales d'exposicions queden a banda i banda. La perspectiva de la nau és monumental: està formada per una seqüència de nou arcs oberts a les parets, separats 6 m entre si. Les parets i els arcs centrals estan construïts amb la tècnica tradicional del ram de paleta. Els arcs de mig punt tenen 9 m de diàmetre i gairebé tota l'alçària de l'edifici. La seva forma repeteix a mida real el gran arc de Trajà que es troba a l'entrada del fòrum de la ciutat. Per formar els arcs, els maons s'aparellen sobre una robust cindri de fusta. Cada arc està format per tres rosques de maó, col·locades a plec de llibre en juxtaposició amb els junts horitzontals de l'aparell de la paret.

A les parets de les sales laterals, s'obren passos que tenen una forma diferent i són més petits que els de la nau central. Estan formats amb arcs gairebé plans, sobre els quals s'aparellen arcs de descàrrega de mig punt, que són els que estan sotmesos a més càrrega. La superposició d'ambdós incrementa la tectònica potent de l'obra de fàbrica.

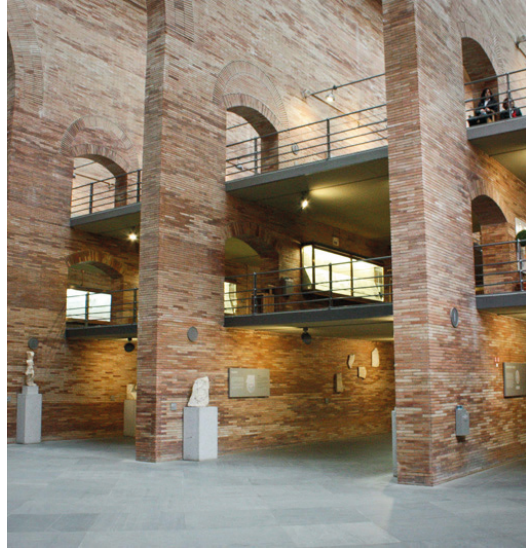
## L'emplectum

L'emplectum és d'origen grec, però va ser perfeccionat pels romans mitjançant el reblert de l'espai buit entre els dos fulls exteriors de maó, amb opus caementicium, anomenat també formigó romà. El material aglomerant era la putzolana, una cendra volcànica que tenia la propietat d'endurir-se en contacte amb l'aigua i assolía una bona resistència, seguint un procés semblant a l'enduriment dels formigons de ciment pòrtland.

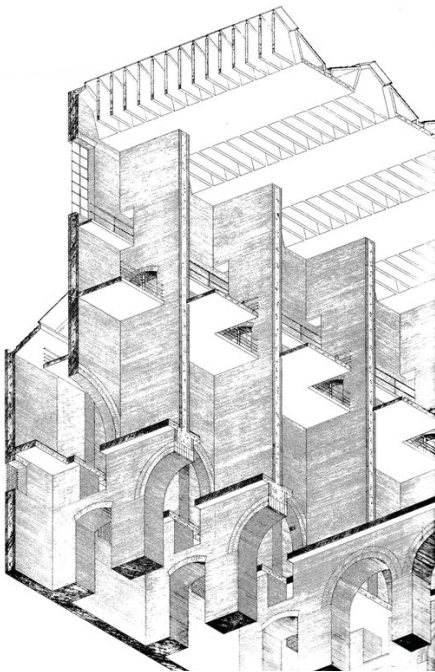
El resultat de la unió d'ambdós materials va possibilitar la construcció de voltes i parets que podien suportar grans càrregues, en l'edificació dels edificis monumentals i de les obres públiques de l'imperi Romà.



Sala central del Museu



Parets de les sales laterals



Axonometria de l'espai interior



Arc de descàrrega de les sales laterals



→ 2



# La tècnica de formigonar

Crematori al parc de Kakamigahara. Gifu, 2005.  
Arquitecte: Toyo Ito. Enginyer: Mutsuro Sasaki

## L'edifici

Els edificis destinats a usos funeraris tenen una relació singular amb el paisatge que els envolta. La relació entre el crematori i el lloc es resol amb una gran coberta ondulada que sembla flotar i s'integra delicadament en el paisatge. Toyo Ito descriu la coberta com un gran tendal que es mou amb el vent. La forma de la coberta, que sembla com si hagi aturat el moviment en el temps, presenta una forma pròpia de les construccions tèxtils. L'ús del vidre a les façanes i el reflex de l'edifici en l'aigua destaquen la imatge lleugera de la coberta.

L'edifici té una sola planta i la coberta està suportada per quatre nuclis estructurals i dotze pilars en forma de con invertit que recullen l'aigua de pluja. Els espais per a les cerimònies se situen entre els nuclis i els pilars. La llum projectada cap al sostre il·lumina de forma indirecta els espais en totes les direccions.

## La forma de la coberta

La secció ondulada dels 2.270 m<sup>2</sup> de superfície de la coberta és el resultat d'un procés de disseny iteratiu de l'estructura, mitjançant el desenvolupament d'una anàlisi paramètrica d'optimització tensional, ideada pel mateix Sasaki. El procés d'anàlisi dinàmica, en evolució, va permetre millorar l'eficiència estructural de la llosa.

També es van tenir en compte l'adaptació de la forma de la coberta a les alçàries necessàries per a l'ús dels diferents espais interiors, la seva relació amb el paisatge del parc i la facilitat de desguàs.

## El material i la tècnica de posada en obra

La tecnologia moderna de fabricació del formigó permet que, mitjançant l'addició d'altres substàncies, el material s'adapti a formes i processos d'execució poc convencionals. En aquest cas, va caldre definir la fórmula del formigó per a ser abocat sobre les superfícies inclinades sense que es produïssin moviments de les masses de formigó, que farien impossible mantenir el gruix de la llosa definit a cada punt. Així, es va utilitzar un formigó de més consistència que l'habitual, amb additius que n'acceleraven l'enduriment. També es van afegir altres additius a la massa per reduir-ne la porositat i augmentar la impermeabilitat de la llosa.

La trobada dels pilars amb la llosa es va resoldre amb un gran capitell. La secció del pilar és variable i al seu centre se situa un desguàs que recull les aigües pluvials i les aboca a l'es-



tany. La cara superior de la llosa no tenia la forma exacta definida inicialment en el projecte i va caldre corregir les imperfeccions de la superfície amb un morter de regularització. La coberta sembla de formigó vist de color blanc, però no ho és. Per sobre de la llosa, es va aplicar una pintura impermeable per tal d'assegurar l'estanquitat de la coberta, i a la cara inferior es va aplicar un revestiment prim de morter aïllant acabat amb pintura. Ambdós determinen el color de les superfícies.

## L'encofrat

Les estructures habituals de formigó in situ es resolen amb formes ortogonals i planes per tal que els encofrats siguin simples i fàcils d'executar, i es puguin reutilitzar. La tecnologia dels encofrats avui permet definir qualsevol geometria. Tanmateix, quan s'aprofita el formigó com a material conformable per prendre les ondulacions d'aquesta coberta, la forma de l'encofrat és més complicada de fer i normalment té un sol ús. Per tant, si no es racionalitza el procés de construcció de la superfície de l'encofrat i l'estructura de suport, el cost final d'aquest mitjà auxiliar arriba a ser desproporcionat en relació amb el baix cost del formigó.

L'encofrat de la coberta és una estructura isostàtica de dues plantes d'alçària, amb un empostissat intermedi per tal de facilitar el muntatge dels sotaponts i de les corretges. Els mètodes digitals de representació gràfica del projecte van facilitar el treball d'especejament i muntatge de l'encofrat de forma precisa al taller. Les seccions de la coberta van ser definides a cada metre, a fi de tallar a mida els diferents sotaponts de l'encofrat, formats amb taulers contraplacats de fusta, corbats i tallats al taller. Sobre els sotaponts, es disposava un altre nivell de perfils de fusta de 25 cm d'alçària, de llistons encolats entre si. Sobre aquesta estructura es recolzava la superfície ondulada de l'encofrat, formada per un empostissat de taules planes de fusta, de 15 cm d'ample. Els encofrats dels capitells estan formats per quatre segments que s'acoblen entre ells, que en si mateixos són una obra de fusteria d'alta qualitat. Tot plegat, en si mateix es pot considerar una construcció, efímera però tan interessant com la definitiva, que ens fa pensar si la coberta no podia haver estat de fusta.

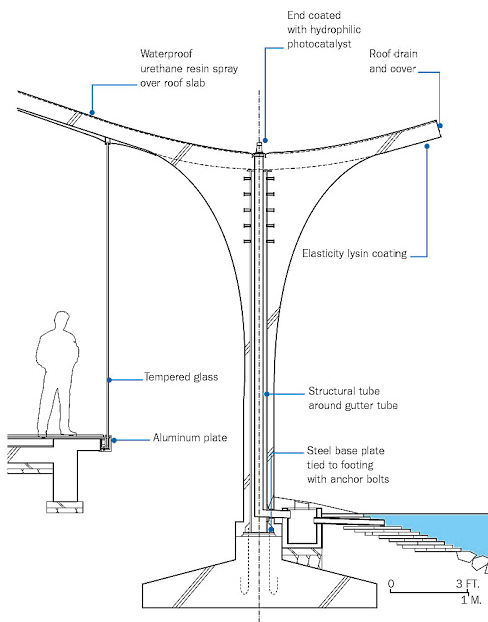
Per evitar els desplaçaments i assegurar l'estabilitat de l'encofrat, es van disposar uns perfils inclinats de trava. Abans de col·locar l'armadura de la llosa sobre l'encofrat, es van fixar els separadors de l'armadura inferior i superior, i una galga que definia el gruix que havia de tenir el formigó a cada punt de la llosa. Finalment, el formigó es va abocar a l'obra de forma contínua, impulsat per una bomba, de manera que el procés va ser ràpid i es van reduir els junts del formigonatge.



Voladís de la coberta



Losa ondulada de la coberta



Secció del pilar i de la coberta



Encofrat del pilar, l'armadura i el desguàs al centre



→ 3



# La construcció industrialitzada

Edifici d'habitatges i d'usos comercials. Rathenow, 1997.

Arquitectes: Klaus Sill i Jochen Kein.

## Edifici

És l'ampliació d'un edifici existent, amb més de cent anys d'antiguitat, situat en un barri de blocs mixtos d'habitatges i oficines de negocis. En el transcurs del temps, el pati de la parcel·la es va anar ocupant amb garatges precaris i coberts que estaven en mal estat. No tenia cap sentit rehabilitar-los perquè no eren habitatges ni oficines i van ser enderrocats. L'espai buit de la parcel·la fou ocupat per la nova ampliació i la resta es va convertir en jardí per als residents.

L'interior de l'edifici existent es va buidar i es va preservar tan sols l'estructura de murs de càrrega i forjats de les tres primeres plantes. A continuació, es va rehabilitar amb tècniques de construcció convencionals i, per a l'ampliació de l'edifici, es van utilitzar tècniques i sistemes de construcció industrialitzada.

## La construcció industrialitzada

Anomenem construcció industrialitzada la que està formada per elements constructius produïts mitjançant l'aplicació de mètodes sistemàtics de disseny, planejament de l'execució i control de l'obra propis de la indústria. En conseqüència els processos tradicionals de posada en obra manual se substitueixen per altres de mecanitzats i automatitzats, en què tots els subsistemes i els components s'integren seguint un procés global de muntatge. Amb aquest procés, es pretén millorar la competitivitat, és a dir, reduir el cost, el temps de construcció i millorar-ne la qualitat final. També s'hi incorporen altres demandes, cada vegada més importants, per tal de reduir l'impacte ambiental dels processos de fabricació i construcció, i que la producció industrial s'adapti a les necessitats dels usuaris.

Una de les alternatives actuals és la prefabricació de grans components per a estructures, cobertes, façanes i particions de diversos materials. També s'utilitzen mòduls sencers habitables, que usualment anomenem "mòduls 3D". L'edifici que estudiem n'és un bon exemple. Està construït amb pòrtics de pilars i jàsseres de formigó prefabricat, sobre els quals es disposen mòduls de gran volum, fabricats amb metalls, formigó i vidre.

## Estructura

L'estructura portant de l'ampliació consisteix en pòrtics de formigó prefabricat dissenyats per suportar 8 mòduls prefabricats simples i 2 mòduls dobles, destinats a estances.



Els pòrtics estan formats per tres crugies paral·leles al pla de la façana i una sola crugia perpendicular. Els pilars són de tipus bandera, és a dir, encastats a la sabata de fonamentació, i d'una sola peça des del terra fins a la coberta. Les jàsseres de formigó armat estan recolzades en les cartel·les que sobresurten dels pilars a l'alçària de cada planta. L'estabilitat del conjunt es resol amb la unió encastada dels pilars a les sabates i de les jàsseres perpendiculars a la façana de l'edifici existent.

Els mòduls d'habitatge tenen forma d'ortoeдре i estan recolzats sobre les jàsseres dels pòrtics. La base del mòdul està formada per una llosa de formigó armat. Les arestes restants estan formades amb perfils tubulars buits d'acer conformat en fred. El mòdul és prou rígid i resistent als esforços de flexió a què està sotmès, de manera que només es recolza sobre les jàsseres paral·leles a la façana.

### **La fabricació i el muntatge**

L'edifici nou és un exemple de sistema de construcció modular realitzat amb components prefabricats, amb l'objectiu de reduir el cost i obtenir una qualitat superior respecte de les tècniques convencionals, intensives en mà d'obra.

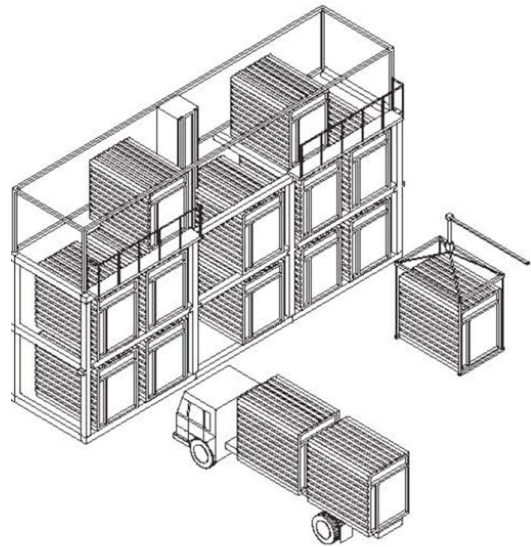
Els mòduls estan construïts en fàbrica, amb materials industrials comuns: xapes ondulades d'alumini anoditzat en el tancament exterior, xapa d'acer galvanitzat a l'interior i, entre ambdós, un aïllament de fibra mineral. La base del mòdul es realitza amb una llosa de formigó que s'aboca durant el procés de fabricació, per complir els requisits de seguretat enfront del foc, protecció del soroll i fer rígid el pla de la base de l'ortoeдре.

Les mesures dels mòduls simples són  $2,50 \times 3,50 \times 2,90$  m. Contenen totes les instal·lacions i amb els serveis necessaris per al seu ús i incorporen calefacció per terra radiant. Alguns són lavabos i d'altres s'utilitzen per a sales de reunions. El sòcol dels mòduls és una guia contínua per la qual s'estén el cablatge elèctric i es fixen els endolls.

Els mòduls es van muntar en una fàbrica a 500 km de Rathenow. L'amplada del mòdul venia determinada per la mesura estàndard d'ample de transport econòmic en camions que no necessiten ser escortats. Una vegada acabades les demolicions preliminars, es van muntar els pilars bandera a les sabates de fonamentació. A continuació, es van instal·lar les jàsseres paral·leles i perpendiculars, recolzades sobre les cartel·les dels pilars. Quan l'estructura de suport estava acabada i la rigidesa del conjunt assegurada, els mòduls van ser hissats mitjançant unes grues potents fins a dipositar-los a les crugies definides pels pòrtics. L'últim pas fou connectar les instal·lacions d'energia, aigua i residus a l'edifici principal.



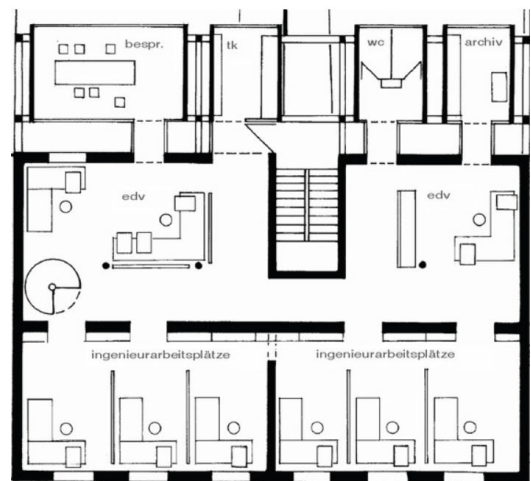
Mòduls prefabricats sobre l'estructura prefabricada de formigó



Axonometria del muntatge dels mòduls



Mòduls i estructura prefabricats



Planta de l'edifici antic i de l'ampliació



→ 4



# La idea de sistema constructiu

Casa de Marie Short. Dempsey, Austràlia, 1975 i 1981  
Arquitecte: Glenn Murcutt

## La casa

Una de les primeres obres de Murcutt fou la casa construïda per a la mare de Laurie Murcutt. Al cap d'uns quants anys els Murcutt, ambdós arquitectes, van comprar la casa i la van ampliar. Està situada en plena natura, entre els prats, a prop d'una llacuna i d'un riu, en una zona plujosa de flora tropical.

El volum de la casa està compost per dos pavellons de dimensions iguals, units per un ampli canaló per a les aigües pluvials que cobreix el passadís que dona accés als dos mòduls. El desplaçament d'una crugia dels dos pavellons entre si, l'orientació de la casa, la situació de les verandes i les característiques dels envolupants exteriors s'han projectat per adaptar la casa a les condicions climàtiques del lloc, a les diferents situacions que es donen de nit i de dia, i al canvi d'estacions.

La casa mostra alguns conceptes característics de l'arquitectura de l'autor, com la utilització de formes vernacles i de recursos materials del lloc, l'adaptació a les condicions de l'entorn i el disseny constructiu acurat.

## El concepte de sistema constructiu

La tecnologia de l'arquitectura contemporània es basa en la utilització de productes de naturalesa i forma diferents, i en l'ús de tècniques de fabricació i posada en obra de procedència diversa. Un conjunt de característiques tècniques tan variades només pot operar conjuntament de forma eficaç si constitueix un sistema constructiu, que definim com un conjunt de components que estan coordinats entre si per relacions d'interdependència, amb l'objectiu de resoldre el disseny i la construcció d'un edifici sencer o d'alguna de les seves parts. En tot aquest procés, és fonamental la racionalització tècnica del projecte i de les tècniques de posada en obra.

En la pràctica habitual, els edificis són el resultat de l'addició de sistemes constructius particulars, que originàriament no comparteixen uns mateixos criteris de connexió, junts i dimensions. L'edifici es construeix amb sistemes híbrids, formats per components i subsistemes que actuen conjuntament, resolent l'estructura i els envolupants de l'edifici, principalment. L'arquitecte avui defineix el sistema general del projecte, és a dir, la geometria, la connexió entre els diversos components, que es poden utilitzar en altres casos semblants. En conseqüència, cal racionalitzar les condicions materials del sistema, cosa que comporta la modularitat dimensional i l'estandardització de la geometria dels components i de les solucions constructives.



Encara que la casa de Marie Short és un edifici senzill i petit, és un bon exemple dels conceptes exposats. La idea de sistema constructiu aplicada a la formació de la casa també ha demostrat ser un recurs útil per a la seva ampliació.

### Les característiques constructives

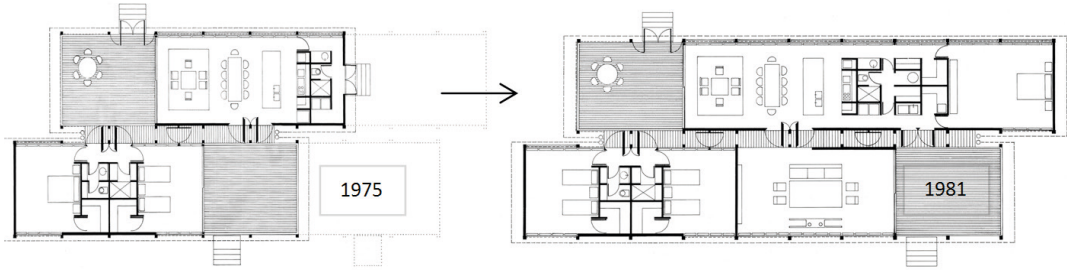
La tecnologia constructiva d'aquesta zona agrària són les tanques de granja, els pals i les travesses de fusta. La casa va ser construïda amb seccions de fusta que la propietària havia comprat a bon preu, com a restes de producció d'una serradora pròxima. Així doncs, el projecte s'adapta a les mides dels taulons disponibles i, a més, incorpora altres materials habituals a les granges, com la xapa metàl·lica de la coberta. La casa es construeix aixecada sobre el terreny per millorar el pas de l'aire i la ventilació, evitar el perill de les inundacions del terreny per la pluja i donar seguretat enfront dels animals.

La geometria del sistema constructiu és simple: es basa en la repetició d'un mateix pòrtic perpendicular a l'eix longitudinal del pavelló. Els dos pavellons iguals estan construïts a partir de l'addició de components de la mateixa geometria i es relacionen entre ells a través de les condicions del sistema que l'autor del projecte ha dissenyat.

L'estructura d'ambdós pavellons està formada per un pòrtic de fusta dura, de 5,23 m de llum, que es repeteix cada 3,05 m. El pòrtic està format per dos pilars i una encavallada triangular. L'espai entre els pilars es descompon en quatre mòduls, que ocupen els tancaments de la façana, formats per lames orientables interiors, les fusteries de les finestres i persianes venecianes a l'exterior. La façana, de tres fulls lleugers, s'adapta a les diferents orientacions i condicions ambientals per mitjà de la regulació manual de la seva disposició. L'espai interior es beneficia de l'obertura de les vistes al paisatge.

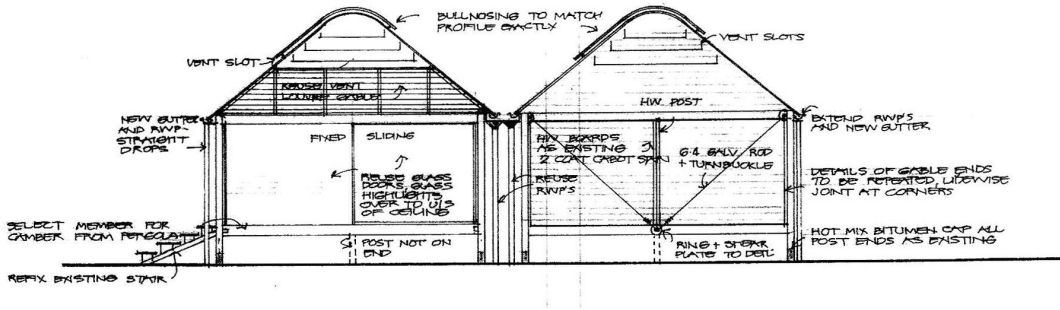
Els components es van acoblar amb unions cargolades, fàcils de muntar i de desmuntar. L'estructura modular i l'ús d'elements seriatos a la façana permetien ampliar fàcilment l'habitatge, reutilitzar tots els components que existents i incorporar-ne de nous amb les mateixes característiques que els anteriors. L'any 1981, els pavellons es van ampliar desmuntant-ne les testeres, afegint-hi una nova sala d'estar i un dormitori, i tornant-los a rematar amb les testeres originals.

Posteriorment, l'arquitecte ha realitzat altres projectes d'habitatges de característiques semblants, utilitzant els conceptes generals del sistema que va definir en aquest cas, amb la qual cosa ha mostrat la seva facilitat d'adaptació a d'altres projectes.



Planta original de 1975

L'ampliació de 1981



Secció transversal dels dos volums units



Vista interior de la sala d'estar-menjador i veranda



Veranda i terrassa coberta



**Elements de construcció**



→ 5



# Estructura de parets

Travertine House. Nova York, 1962  
Arquitecte: Gordon Bunshaft

## La casa

Bunshaft era l'arquitecte principal de la gabinet SOM, que es dedicava a projectar importants edificis institucionals als Estats Units. Tanmateix, durant la seva interessant carrera professional, tan sols va projectar aquest habitatge, que utilitzava durant els caps de setmana i en el qual guardava i exhibia les peces d'art contemporani que col·leccionava. L'any 2005, l'habitatge fou venut i lamentablement el propietari el va enderrocar per construir-ne un de nou.

La casa se situa en un emplaçament pla, amb vistes a un llac. El volum de la casa és simple: està format per un únic prisma de base rectangular, d'una sola planta d'altura. El programa de l'habitatge és bàsic: consta de dos dormitoris, una cuina, la sala d'estar-menjador, els serveis i els espais auxiliars.

## De l'estructura i l'espai

L'estructura de la casa és molt elemental. Té una geometria escarida, formada per dues parets de càrrega paral·leles entre si, que sostenen les lloses de coberta sense cap altre element estructural intermedi. No té parets perpendiculars a les longitudinals en les testeres. Amb uns elements tan escassos, la casa queda totalment definida quan s'acaba l'estructura, com passa amb l'arquitectura clàssica.

Les parets estan construïdes amb bloc buit de morter de ciment de 25,4 cm de gruix i estan coronades per una biga rectangular de formigó armat de 36 × 60 cm sobre la qual recolza la llosa de la coberta. La llum entre les parets és de 7,30 m. Com que la llum de la llosa excedeix les mides habituals dels forjats unidireccionals de formigó armat, Bunshaft utilitza plaques de formigó pretesat amb les quals cobreix l'espai interior sense cap suport intermedi. La secció de la placa té forma de pi o TT i és de 42,5 cm de cantell. Entre els nervis de les plaques queda un espai buit, a manera de trifori, pel qual entra una llum difusa que fa més lleugera la percepció del sostre.

Les parets marquen la direcció dominant de l'espai entre elles. La falta de parets testeres en subratlla la direccionalitat, perquè la llum i les vistes són als dos extrems. La llarga longitud de les parets dificulta que la llum i les vistes arribin al terç central de la planta. Aquest problema es resol obrint una obertura central de més dimensió que les testeres. D'aquesta manera, s'introdueix una altra direcció en l'espai, la perpendicular a la principal, que permet gaudir de llum i vistes sobre el llac, i dona accés a la terrassa exterior.

Una jàssera de cantell a manera de llinda, de 9,90 m de llum, cobreix l'obertura de la façana. La jàssera no recorre tot el perímetre del rectangle perquè s'interromp a les testeres. Sobre



ella es recolzen els nervis de les plaques prefabricades. La seva dimensió ve determinada pel cantell necessari per resoldre el gran buit de la façana, que es manté constant fins i tot quan està totalment recolzada sobre la paret. La raó per la qual es manté el cantell no respon a l'eficiència estructural, sinó a la voluntat de mantenir la claredat i la simplicitat compositiva del parament.

## L'estabilitat de l'estructura

Les estructures de parets, per ser estables, necessiten d'altres parets perpendiculars que fan la funció de trava. Tan sols quan l'edifici és baix o se situa en zones sísmiques de baixa intensitat se'n pot prescindir. Però gairebé mai no es prescindeix de les testeres, que en milloren l'estabilitat general. En aquesta casa, les parets no estan unides entre elles, i fins i tot el suport de les lloses del forjat de coberta és un suport simple, isostàtic, de manera que no intervé en l'estabilitat del conjunt.

L'estabilitat de la paret es confia exclusivament al seu gruix i a la unió amb la sabata correguda de fonamentació. La paret de bloc de morter té un gruix de 25,4 cm i l'altura entre forjats és de 3 m, de manera que té una esveltesa gairebé de 12. Les parets són prou estables sense necessitat que n'hi hagi d'altres de trava.

## La paret-façana

Grans finestres tanquen les testeres i l'obertura central de les parets. Les finestres situades a les testeres es disposen en un pla reculat del final de la paret. La diferència de plans entre les finestres i el final de les parets té diverses funcions. Permet destacar més la presència de les parets, defineix una ombra lateral sobre el buit de les finestres i assegura millor l'estanquitat de la unió entre la finestra, la paret i el forjat. Aquest espai semblant a un nínxol protegeix de l'acció d'aigua i del vent les arestes d'unió dels tres elements constructius.

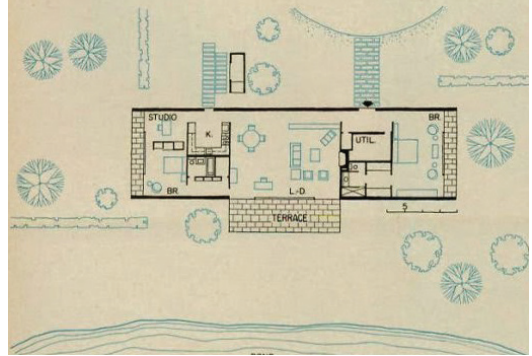
El bloc de morter de ciment que es va utilitzar en l'execució de la paret es produïa en una màquina ponedora. Com era habitual llavors, la màquina deixava la peça mal acabada i amb una alta absorció de l'aigua, per la qual cosa es va haver de revestir amb marbre travertí, que també es va utilitzar a terra i que ha donat nom a la casa.

Aquesta secció de paret, sense cap material d'aïllament al seu interior, té una resistència tèrmica baixa, que no acceptaríem avui. La secció del mur avui hauria de ser de dos fulls i tenir al mig material d'aïllament. La millora de les prestacions del mur seria realment efectiva, però s'allunyaria de la simplicitat tècnica original.

La simpàtica foto de Nina i Gordon Bunshaft asseguts sobre els blocs de morter durant el procés de construcció permet apreciar les característiques materials dels blocs utilitzats.



Vista des de l'interior de la gran obertura de la façana



Planta de la casa



Façana lateral



Gordon i Nina Bunshaft asseguts als blocs de les parets



→ 6



# Estructura de pòrtics

Casa Hopkins. Londres, 1976.  
Arquitectes: Michael i Patty Hopkins.

## La casa

És un habitatge situat en una zona residencial a prop de Londres, que durant un temps també va ser el gabinet professional dels Hopkins. Ambdós havien treballat a l'oficina de Norman Foster, on van desenvolupar projectes amb modernes tècniques i sistemes de construcció, paradigmes de l'arquitectura high tech dels anys setanta.

A casa seva, van aplicar els coneixements i l'experiència que havien adquirit en els projectes d'edificis singulars. A petita escala, van utilitzar materials i tècniques que coneixien, manejant components de catàleg de manera senzilla i eficient. La casa és el resultat d'un plantejament elemental, en que la idea de "light" –en el doble significat de "llum" i "lleuger"– és la guia del projecte.

## L'estructura

La casa té dues plantes rectangulars de 10 × 12 m, formades amb rectangles de 2 × 4 m, amb un pilar a cada un dels vèrtexs. En una direcció de la planta, hi ha 6 pilars i cinc trams entre ells i, en la direcció perpendicular, quatre pilars i tres trams.

Els pilars són tubs quadrats d'acer laminat soldat, de secció constant des de la fonamentació fins a la coberta. Els situats al centre de la planta suporten les càrregues i les sobrecàrregues d'un tram de sostre de 8 m<sup>2</sup>, que originen esforços de compressió de poca magnitud, de manera que la secció del pilar és menor que en les estructures convencionals. Per transmetre els esforços als caps dels pilars, es disposen petites cartelles de suport soldades a les bigues i als pilars. En el perímetre de les façanes, els pilars estan separats 2 m entre si. Aquesta distància és més petita que a l'interior de la casa perquè a les façanes principals també serveixen per a la fixació dels bastiments de les finestres.

Els llums entre els pilars són petits i el sostre és lleuger, de manera que els cordons superior i inferior de les bigues en gelosia són suficients per suportar el moment flector. Els reduïts esforços tallants als suports no fan necessari reforçar l'ànima de la biga en els extrems. La transparència de la gelosia és una solució coherent amb la continuïtat de l'espai interior que es pretén.

L'estructura d'acer és lleugera, amb nusos articulats entre bigues i pilars, de manera que no és estable davant de les accions horitzontals, si no es disposen solucions constructives que la travin en ambdues direccions. A les dues façanes vidriades, la solució és evident: a través de les finestres, podem veure dues creus de sant Andreu que fan rígids els dos plans. En la direcció perpendicular, la solució no és tan evident; els plafons de xapa d'acer de les façanes



laterals fan la funció de diafragmes rígids de l'estructura en els dos plans opacs. La segona solució tan sols és eficient en edificis de baixa altura com aquest.

Tant les bigues principals que suporten el sostre unidireccional com les perpendiculars són bigues en gelosia de tipus Warren de 60 cm de cantell. El cantell de les bigues principals i de les perpendiculars no té per què ser igual. El de les perpendiculars hauria de ser menor, ja que no estan sotmeses als esforços de flexió de les principals. En aquest cas, es manté la uniformitat del cantell de tot l'entramat de bigues per conservar la mateixa alçària de les particions interiors.

El sostre està format per una xapa plegada d'acer recolzada sobre les bigues de gelosia. La direcció de les xapes és paral·lela a les façanes laterals, de manera que tenen suports cada 2 m i no cal una subestructura de corretges auxiliars. Encara que l'espai interior sembla isòtrop, la geometria del sostre és clarament unidireccional.

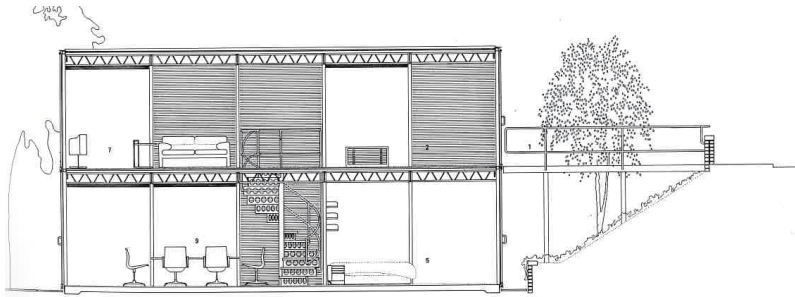
Sobre la xapa d'acer, se sobreposa un tauler de fusta acabat amb un paviment de moqueta. Aquesta secció té problemes de falta d'aïllament acústic davant del soroll aeri i d'impacte. Segurament, avui la xapa del sostre restaria complementada per una llosa de formigó abocat in situ, que també col·laboraria a la indeformabilitat del pla del sostre, tot i que es perdrien la lleugeresa i els avantatges del procés de muntatge en sec.

Per facilitar la continuïtat de l'espai interior, els envans es disposen en els eixos de les bigues de gelosia, de manera que l'aresta superior de l'envà s'uneix al cordó inferior de la biga. És una solució geomètrica clara, però presenta un problema d'aïllament acústic entre les habitacions, perquè no tanca l'espai que ocupa l'ànima de la biga en gelosia.

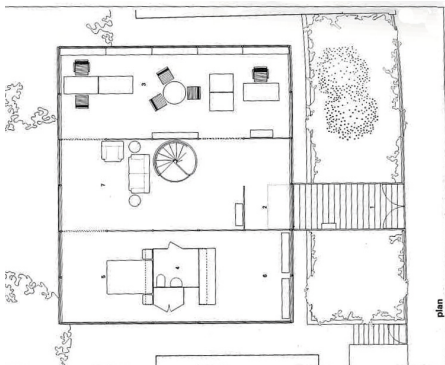
## Components constructius de catàleg

Per als Hopkins, era important que l'habitatge es construís amb productes i tècniques propis de la construcció industrialitzada, com més seriada i universal millor. Així, els components de construcció que hem vist són de catàleg, a diferència de les obres més conegudes de la high tech del Regne Unit, que, malgrat l'aparença de components industrialitzats de sèrie, són exemples únics d'una artesanía mecanitzada.

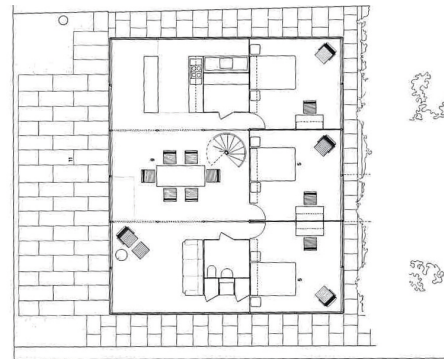
Un cas particular d'element de catàleg és l'ús de les bigues en gelosia formades amb perfils d'acer laminat. Els cordons superiors i inferiors estan formats per dues L soldades a platines d'acer en forma de W. Al Regne Unit, és fàcil trobar empreses que disposin de la tecnologia per muntar aquest tipus de bigues a mida, a partir d'un catàleg variat de seccions, amb les seves prestacions mecàniques perfectament caracteritzades i amb senzilles taules de dimensionament. La fabricació de les bigues pot ser fins i tot automatitzada. Segurament, aquestes bigues provenen de la tradició de la construcció dels ponts dels ferrocarrils anglesos a final del segle XIX amb grans bigues en gelosia, que més tard s'han estès a l'edificació.



Secció de la casa



Planta d'accés



Planta inferior



Estructura i espai interior



Façana lateral de xapa metàl·lica



→ 7



## El sostre

Galeria d'Art i Centre de Disseny. Universitat de Yale, 1953.  
Arquitecte: Louis Kahn

### L'edifici

La Galeria d'Art és una ampliació de l'antiga galeria, destinada a sales d'exposicions d'art i una secció d'arquitectura. Conté amplis espais buits per a l'exhibició d'obres i per a l'ús dels estudiants.

És el primer projecte important de Kahn –fins aleshores havia construït cases unifamiliars de menys complexitat tècnica–, en què resol amb habilitat el problema de la relació entre els serveis i l'estructura a les sales d'exposició. Kahn hi aplica el seu concepte de relació entre espais servidors i servits, en què els serveis de la crugia central i les comunicacions verticals serveixen les dues sales d'exposició. Ambdues sales són diàfanes, lliures de parets i pilars, per tal de facilitar l'ús flexible i canviant de les exposicions i d'altres activitats. Quan l'exposició requereix dividir l'espai, es munten particions mòbils. Al centre de l'edifici, hi ha un pati, en tota la seva alçària, que conté una escala a l'interior d'un gran cilindre de formigó amb il·luminació zenital.

### L'estructura

L'estructura, a més de suportar l'edifici, determina la forma característica del projecte. La galeria està formada per tres crugies rectangulars i una crugia més de pas entre l'edifici nou i l'antic. Les dues crugies iguals estan separades pel pati interior d'accessos i comunicació entre les plantes.

La geometria modular de les crugies de les sales d'exposició està formada per l'addició de quatre rectangles amb pilars als seus vèrtexs. Els mòduls rectangulars fan  $12,5 \times 6,25$  m entre eixos i el rectangle més gran que els conté fa  $25 \times 12,5$  m. Les crugies estan limitades per una biga perimetral de formigó armat.

### El sostre

La solució constructiva del sostre està formada per nervis units amb tetràedres de formigó armat in situ, sobre els quals es forja la llosa superior. La solució del complex entramat de nervis i buits és enginyosa, perquè facilita el pas de les instal·lacions a través del sostre, que roman vist.

El sostre es recolza sobre els pòrtics de formigó armat, sense suports intermedis, de manera que sembla flotar sobre la sala d'exposició. La llum del sostre entre els eixos dels pòrtics



és de 12,5 m; si fos massís, s'hi produirien moments flectors i deformacions considerables. Per disminuir el pes propi, s'alleugereix amb tetràedres buits. A la cara inferior del sostre es poden veure els nervis de formigó en tres direccions: una perpendicular als pòrtics i a les altres dues, en diagonal. De fet, els nervis no són iguals: els principals tenen una secció rectangular constant i són perpendiculars als pòrtics, mentre que, en les altres dues direccions, tenen una secció variable formada per una successió de triangles units als nervis principals.

Les plantes de les galeries són rectangles de proporció 1:4, que no és òptima per a un repartiment equilibrat dels esforços en les dues direccions, perquè els nervis de menor longitud estan sotmesos a tensions més elevades que els més llargs. Per tant, els nervis perpendiculars als pòrtics són els que suporten la flexió en una sola direcció. Tanmateix, la geometria del pla inferior del sostre queda definida per les arestes dels tetràedres i dels nervis principals, com si fossin nervis iguals en tres direccions.

La funció dels tetràedres és reforçar lateralment els nervis principals davant dels esforços horitzontals. Les arestes de les cares massisses del tetràedre s'uneixen al nervi principal i el vèrtex inferior, a un punt del nervi següent. La solució constructiva inicial del sostre es va modificar per resoldre el problema de l'esforç tallant, que es concentra en aquest encontre de tan poca secció. El conjunt de nervis i tetràedres units a la llosa superior del sostre dona un caràcter monolític al conjunt.

La geometria complexa del sostre es va construir amb encofrats metàl·lics en forma de tetràedre, sobre els quals es va abocar el formigó. A través dels buits que queden entre els tetràedres, circulen les instal·lacions d'il·luminació artificial i de ventilació. A sota de la llosa, es disposen plaques d'aïllament acústic per tal d'evitar la reverberació del so.

## **El sostre tècnic**

L'aportació tècnica més rellevant del projecte és el concepte de sostre, que va més enllà de la idea de suport estructural. El sostre és un conjunt integrat que resol les exigències mecàniques i de serveis, per aconseguir una alçària lliure de les sales més gran.

Els sostres són accessibles per facilitar el manteniment i la modificació de la il·luminació de les exposicions. La geometria dels tetràedres permet disposar de prou espai per al pas dels tubs de ventilació i les instal·lacions d'il·luminació que arriben des del nucli central. Aquest concepte estructural ha tingut un ampli desenvolupament tècnic posterior, sobretot en els sostres de bigues d'acer en gelosia.

Perquè el recorregut de les instal·lacions sigui menys visible, la il·luminació del sostre projectada cap a terra deixa en un buit fosc l'interior dels tetràedres, de manera que tan sols es percep amb claredat la geometria plana dels nervis en tres direccions.





→ 8



# La façana-estructura (1)

Edifici de MedioPro. Barcelona. 2008.  
Arquitectes: Carlos Ferrater, Patrick Genard i Xavier Martí.

## L'edifici

Situat al nou districte 22@ de Barcelona, és un edifici destinat a activitats d'empreses del sector audiovisual i d'espais per a la producció de continguts. Se situa en un entorn urbà en el qual ja hi ha oficines i s'hi construirà, a més, un centre universitari i d'altres centres públics i privats de producció audiovisual.

L'edifici, destinat a oficines per a les empreses audiovisuals, és una torre de 19 plantes d'alçària sobre un altre edifici més baix de 5 plantes. La torre avui és l'edificació més notable del conjunt. Les plantes tenen una geometria variable que va girant a mesura que l'edifici s'enfila, de manera que els plans de façana van canviant progressivament. La torre i l'edifici baix tenen en comú els nuclis de serveis i comunicacions, i la composició de la façana.

## Estructura metàl·lica de la façana

L'estructura general de l'edifici està formada per la façana i els nuclis de formigó armat destinats a serveis i comunicacions verticals, a la manera del "tube in tube" dels gratacels. L'estructura de pilars i travessers horitzontals d'acer a manera de gàbia defineix la forma característica de la façana. L'espai interior de l'edifici no té pilars intermedis i permet una planta adaptable a usos diversos.

La planta de l'edifici té una forma semblant a un rectangle, que canvia de perímetre fins a cinc vegades. Els nuclis centrals són de formigó armat, tenen un gruix variable en funció de l'alçària i estan separats de la façana 16 m, de manera que els sostres han de cobrir una llum considerable. Per reduir el seu pes, s'ubiquen revoltos de polièstirè expandit entre els nervis. Per disminuir les deformacions, el sostre es reforça mitjançant un posttesat de cables d'acer, inserits en unes beines reblertes amb morter d'alta resistència. El posttesat uneix els nuclis i la façana quan la llum és més gran i al voladís de la sisena planta, de manera que el sostre també treballa com una pantalla rígida plana que els uneix tots dos.

El perímetre de l'edifici consta de 72 pilars separats per una distància que varia entre 1,90 i 2,05 m, en funció del pla de la façana. Els pilars rectangulars, de 60 x 30 cm, estan formats per seccions tancades de planxes d'acer soldades, reblertes de formigó armat. El gruix de les planxes d'acer augmenta amb la càrrega que suporten. A la secció mixta de formigó i acer, el primer suporta les càrregues permanents i l'efecte del foc en cas d'incendi, i les planxes d'acer, les càrregues restants. Els pilars s'uneixen rígidament als sostres amb uns travessers horitzontals d'acer. Aquestes nombroses unions rígides permeten que l'estructura general funcioni com un tot en tres dimensions, per resistir de forma més eficient les accions horitzontals.



El buit tipus de la façana format per la finestra queda emmarcat entre l'entramat estructural dels pilars i els travessers dels forjats. Per tal de facilitar la posada en obra i garantir la seguretat, els pilars es van fabricar al taller en trams de tres plantes d'alçària per a les més baixes i de dues plantes per a les superiors. L'armat i l'abocament del formigó es van realitzar in situ. El formigó va ser bombat fins a assolir l'alçària de cada planta i abocat a l'interior dels pilars d'acer a través d'unes finestretes previstes a l'altura dels sostres.

## El "tube in tube"

El plantejament de l'estructura porticada ha estat àmpliament acceptat a l'arquitectura del segle XX. En les façanes de mur cortina, la façana és lleugera i transparent, de manera que perd la seva tradicional funció estructural. En l'arquitectura convencional, no passa el mateix, perquè encara no s'han explotat les possibilitats que brinda una lleugeresa més gran.

El problema de l'edifici de gran altura és l'acció dinàmica del vent, més complexa de resoldre que les accions gravitatòries estàtiques. L'estructura requereix rigidesa per suportar les accions del vent, i flexibilitat i lleugeresa per resistir les accions dels sismes.

La geometria de pòrtics plans d'acer no és eficient quan l'edifici té una gran alçària. Els nusos rígids d'unio entre els perfils han de ser de grans dimensions per poder suportar les accions horitzontals. En aquests edificis, la massa d'acer necessària per suportar les càrregues horitzontals arriba a superar la massa necessària per suportar les càrregues gravitatòries.

A principi de 1960, l'arquitecte Myron Goldsmith i l'enginyer Fazlur Khan, del gabinet d'arquitectura nord-americà SOM, van desenvolupar un nou concepte estructural per als edificis en altura. La nova solució estructural permetia que les accions horitzontals que actuaven sobre l'edifici (el vent i els sismes) no penalitzessin la quantitat de massa estructural necessària. Després de realitzar diversos treballs analítics i experimentals, van definir dues estructures verticals, com si fossin un tub dins un altre que treballessin conjuntament. El tub interior està format pel nucli de serveis i comunicacions, de formigó armat. L'exterior està format per una estructura de perfils laminats d'acer, separats a poca distància entre ells, que actua com un gran tub perforat. El sostre que uneix els dos tubs permet que treballin conjuntament.

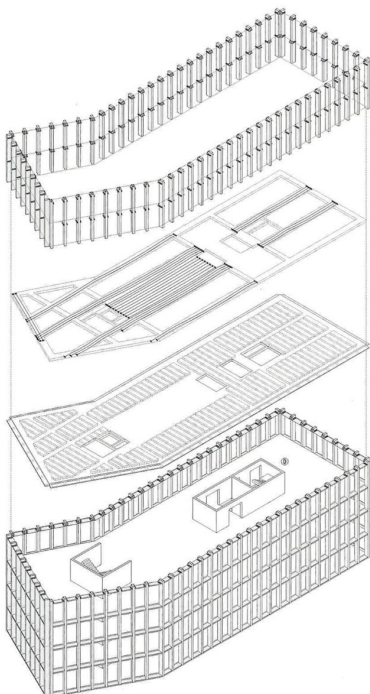
El tub exterior actua com una mènsula encastada a terra, formada per grans pantalles alleugerides. Les cares paral·leles a l'acció del vent suporten el moment flector i les cares perpendiculars absorbeixen el tallant. Els pilars interiors tan sols suporten les accions gravitatòries. D'aquesta manera, el tub exterior recupera la idea d'estructura perimetral que col·labora amb el nucli interior a través del sostre, tot reduint la massa estructural de l'edifici.



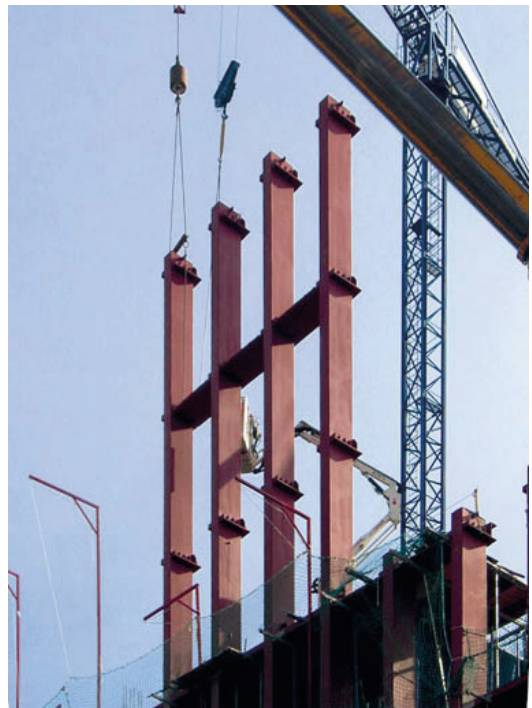
Façana principal



Vista des de l'interior



Esquema estructural



L'estructura en construcció





# La façana-estructura (2)

Edifici per a usos diversos. Frankfurt, 2010.  
Arquitecte: Dietz Joppien Architekten AG.

## L'edifici

L'edifici està situat en un polígon industrial, en un entorn urbà heterogeni, en el qual estableix una potent referència urbana, simple i monumental davant del desordre visual de la zona. En planta, l'edifici té forma de triangle equilàter de cantonades arrodonides, situat a l'encreuament de dos carrers. La gran obertura en voladís de les dues plantes inferiors d'una cantonada permet relacionar l'interior de l'edifici amb l'exterior dels carrers.

El programa funcional és obert i s'hi poden desenvolupar usos industrials i comercials. La planta baixa a la banda del pati interior està destinada a usos culturals i d'entreteniment. La disposició neutra dels buits de la façana, la posició de l'estructura interior i els nuclis d'instal·lacions faciliten dividir la planta d'acord amb les necessitats d'espai de les empreses.

## Estructura

La robustesa de l'edifici s'aconsegueix amb la construcció d'unes façanes monolítiques i unes obertures regulars de la mateixa forma. El volum és ordenat en planta i alçat mitjançant la successió d'eixos que optimitzen el seu comportament estàtic, i aporten claredat estructural i lògica funcional.

L'estructura vertical de l'edifici està formada per dues parets de façana i una alineació de pilars entre ambdues. Les dues crugies que defineixen els pilars són asimètriques: una és més gran que l'altra. Tanmateix, l'espai interior presenta una simetria funcional clara. A l'eix central de la planta, es disposen els nuclis d'instal·lacions i de serveis, de manera que els espais lliures entre ambdues façanes són iguals.

Els sostres suporten una sobrecàrrega bastant elevada, deguda als usos que s'hi preveuen. El sostre és de formigó lleuger estructural (FLE) armat de 30 cm de gruix, i es recolza sobre les parets de la façana i els pilars. A la façana interior de l'edifici, el sostre es prolonga més enllà de la paret en voladís per formar una galeria perimetral d'accés i relació amb el pati. La rigidesa del conjunt davant dels esforços horitzontals s'aconsegueix mitjançant tres nuclis de formigó situats a les cantonades del triangle.

## Les parets de façana estructural

Són una construcció monolítica de FLE armat de 50 cm de gruix. La densitat del material utilitzat és de 14 kN/m<sup>3</sup>, que ha estat possible gràcies a la inclusió d'àrids porosos, més lleugers que els habituals en el formigó armat (FA). Encara que els àrids lleugers en principi



redueixen la resistència a compressió del formigó en relació amb els àrids comuns del FA, el FLE té una resistència característica a compressió de 25 MPa, suficient per suportar les tensions a què està sotmesa la paret.

La paret de les façanes exteriors té obertures que alternen trams massissos d'1,20 m de longitud amb trams buits per a les finestres de 4,80 m, de manera que els buits ocupen el 40 % de la façana. Amb obertures de llums tan àmplies, les llindes de les finestres estan fortament armades per poder suportar els esforços de flexió. Els pilars interiors estan separats 6 m entre eixos. A la cantonada del triangle que coincideix amb l'encreuament dels carrers, la façana no arriba a terra, queda sobre el buit d'accés a l'edifici a 8 m d'altura. En aquesta zona, les parets de façana treballen com una gran biga Vierendeel corba, de tres plantes d'alçària. Encara que les parets treballen principalment a compressió, a la cantonada estan sol·licitades a grans tensions de flexió que suporten unes armadures reforçades.

La tècnica de posada en obra redueix el nombre de juntes de formigonat i retracció i dels orificis d'ancoratge de les planxes d'encofrat. El resultat és una superfície llisa i contínua, per bé que les empremtes de l'execució no hi queden totalment ocultes.

El gruix ample de la paret de FLE és una bona solució constructiva per millorar la resistència tèrmica de la façana, perquè la conductivitat tèrmica del material és de 0,57 W/M °K. Aquest valor satisfà les exigències d'aïllament tèrmic que es requerien quan es va construir l'edifici. Avui, l'objectiu de reduir el consum d'energia de l'edifici gairebé a zero ens portaria augmentar el gruix de la paret.

### **El formigó lleuger estructural**

El FLE s'obté amb la incorporació d'àrids lleugers o per l'oclusió d'aire a la seva massa. Té una densitat d'entre 12 i 20 kN/m<sup>3</sup> i una resistència característica a compressió de fins a 50 MPa. Amb aquest material es poden construir estructures de formigó més lleugeres, amb una bona resistència tèrmica i acústica i, a més, amb resistència al foc, com tots els materials d'origen petri. La conductivitat tèrmica oscil·la entre 0,5 i 0,7 W/M °K.

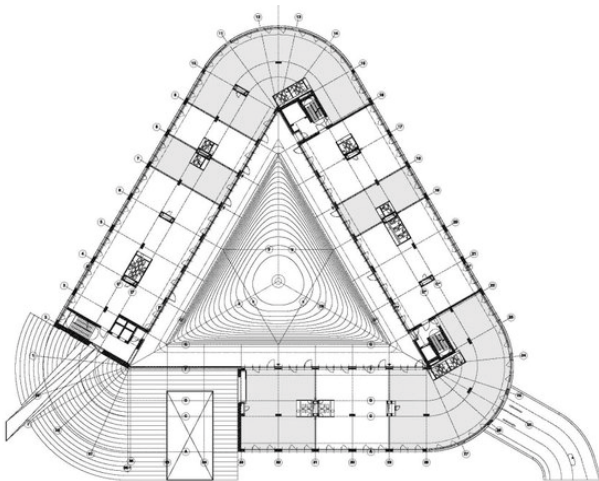
Tanmateix, requereix una posada en obra més delicada que el formigó armat. En aquest sentit, exigeix una compactació intensa i el procés d'enduriment de la massa presenta més retracció. La porositat del material és alta i obliga a augmentar el gruix de recobriment de les armadures 5 mm més que en el formigó armat. Per millorar la impermeabilitat del material davant la pluja, la cara exterior ha de ser hidrofugada.



Xamfrà de l'edifici



Vista de l'interior



Planta baixa



La façana i l'espai interior.



→ 10



# La façana convencional

Edificis d'habitatges a la Vila Olímpica. Barcelona, 1992.  
Arquitectes: Lluís Clotet i Ignacio Paricio.

## Els edificis

Amb motiu dels Jocs Olímpics de Barcelona, es va construir un barri d'habitatges davant del mar. El Pla especial de la Vila Olímpica imposava que les façanes dels edificis d'habitatges havien de ser d'obra de fàbrica de maó vista, per tal d'assegurar la coherència compositiva del conjunt i permetre una certa varietat en cada projecte.

La secció constructiva de les façanes dels edificis de la Vila Olímpica, en general, és la d'una façana convencional. Tanmateix, els arquitectes Clotet i Paricio en van projectar una proposta que en millora les prestacions i la durabilitat.

## La façana convencional

La façana d'obra de fàbrica de maó de 30 cm de gruix va ser una solució comuna als edificis d'habitatges fins que es van establir unes exigències normatives d'estalvi d'energia a la dècada dels anys setanta. A partir de llavors, per assolir la resistència tèrmica que ha de tenir la façana, cal incorporar-hi un material específic d'aïllament tèrmic.

La secció de la nova paret de façana queda definida per una paret exterior de 14 cm de gruix de maó, un envà interior prim i, entre tots dos, una cambra d'aire sense ventilar, amb material d'aïllament. La paret exterior queda inserida entre els sostres deformables de l'estructura. Per formar el buit de les finestres i les portes, la paret exterior gira fins a la cara interior de la façana, en la qual es fixen les fusteries. És una solució constructiva que pretén mantenir la imatge de la paret massissa, però no és coherent amb el comportament mecànic i higro-tèrmic i enfront l'estanquitat de la façana de dos fulls.

La solució convencional origina nombroses lesions de diferent índole. La paret exterior sovint presenta problemes de falta d'estabilitat perquè el suport sobre el sostre és insuficient. A les parets de les plantes inferiors, es produeixen lesions degudes a la falta de resistència a la transmissió de les accions verticals. En el buit de la façana, el fals lligam entre ambdues no resisteix les tensions derivades de la diferència de temperatura a què estan sotmeses, que poden superar les tensions admissibles de la unió i ocasionen fissures que faciliten l'entrada d'aigua a la paret.

La paret exterior no és estanca si no és revestida. La falta de continuïtat de l'aïllament quan s'interromp a cada sostre provoca ponts tèrmics i condensacions. La solució del brancal també origina ponts tèrmics i, en conseqüència, hi ha el perill que es produeixin condensacions superficials. I així podríem enumerar altres problemes de la façana.



Els errors en aquesta secció constructiva i les seves conseqüències han estat àmpliament criticats en la literatura especialitzada. I les lesions freqüents que apareixen a la pràctica demostren la validesa dels arguments exposats. Per tot això, avui ja no podem considerar-la una solució constructiva fiable.

## La façana dels edificis de la Vila Olímpica

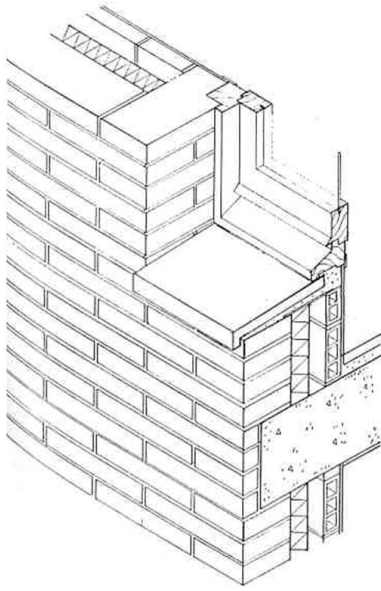
Quan es van construir els edificis de la Vila Olímpica, la façana convencional encara era la solució dominant en la construcció de façanes d'edificis d'habitatges. No obstant això, els autors del projecte van proposar una solució de façana que en resol molts errors endèmics. La façana de l'edifici té una secció constructiva formada per dues parets, amb una cambra d'aire ventilada entre ambdues, en contacte amb la paret exterior, i un material d'aïllament al costat interior. La solució de suport sobre el forjat també és diferent de la convencional.

El drenatge i la ventilació de la cambra d'aire milloren l'estanquitat, perquè l'aigua que travessa la paret exterior i passa a la cambra es pot evacuar pels junts verticals sense morter situats a la base de la paret. La ventilació de la cambra d'aire es produeix des de la base, a través dels junts verticals buits, fins a més amunt, a través de l'obertura que deixa el pas de la persiana o altres junts oberts. La ventilació de la cambra evita la possibilitat que apareguin condensacions intersticials a l'espai entre ambdues parets.

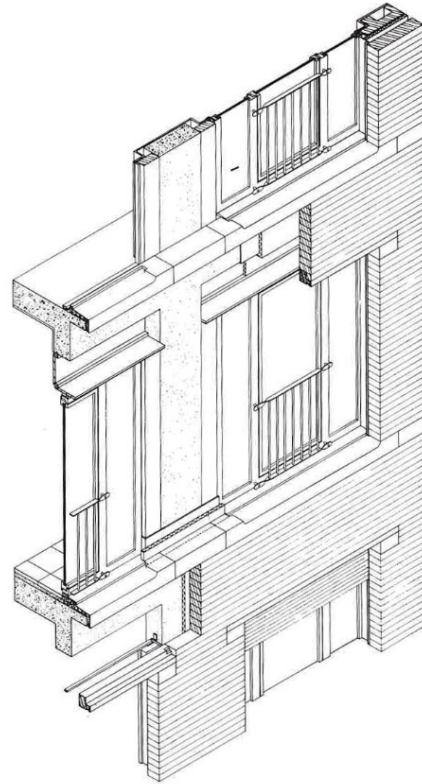
L'estructura de l'edifici està formada per un sostre i uns pòrtics paral·lels a la façana, de formigó armat in situ. Per sota del sostre, es despenja la biga de cantell del pòrtic i, per la cara exterior de la biga, sobresurt una vora del sostre formada per una llosa de 14 cm de vol i 12 cm de gruix, sobre la qual es recolza la paret exterior. La secció menor de la vora del sostre redueix la discontinuïtat del material d'aïllament, facilita el drenatge i la ventilació de la cambra d'aire interior i desvincula la paret exterior del sostre superior.

El coronament superior de la paret exterior no està atracat a la cara inferior de la vora del sostre, sinó que l'espai entre ambdós se segella amb un material elàstic que n'assegura l'estanquitat. Aquest segellament és deformable i no transmet les càrregues verticals que es transfereixen quan la paret està atracada contra el sostre. L'estabilitat de la paret exterior no depèn de la fricció de la paret amb el sostre superior, perquè està subjecta a la paret interior mitjançant unes barnilles d'acer inoxidable, que es fixen als extrems de les llindes de pedra artificial. La paret interior està formada per trams de paredó de ceràmica buida i pilars de formigó en forma de pantalla.

El cantell del sostre està coronat per una peça especial de pedra artificial a manera d'imposta plana que, a més, resol l'escopidor de les finestres. Les peces en forma de L invertida no estan en contacte amb la cara exterior del cantell del sostre, de manera que no hi ha continuïtat material. Tanmateix, no és una ruptura del pont tèrmic totalment efectiva, perquè la resistència tèrmica d'aquesta secció és menor que a la resta de la façana; però, almenys, el tram de sostre sense aïllament s'ha reduït a un terç del que és habitual en la solució convencional.



Solució constructiva genèrica de la façana convencional



Axonometria de la secció constructiva de la façana de l'edifici



Façana



Finestra



→ 11



# La façana ventilada de fàbrica de maó

Biblioteca de la Queen Mary University, Londres, 1988.

Arquitecte: Colin St. John Wilson.

## La biblioteca

Al llarg de la seva carrera, Sir Colin St John Wilson va construir diversos edificis destinats a biblioteques, el més conegut dels quals és la British Library de Londres. En aquests edificis, va utilitzar la façana de maó vist per aconseguir, segons explicava ell mateix, una imatge modesta, sòlida i tranquil·la.

En aquest edifici, el rigor de la composició en planta i alçat es correspon amb l'organització funcional de la biblioteca i l'eficiència de les solucions tècniques projectades, ajustades a un pressupost limitat. A la façana, es va utilitzar la solució de la façana tradicional anglesa de la cavity wall, en una versió contemporània en la que la paret interior no forma part de l'estructura de l'edifici.

## La paret de façana

Està formada per dues parets d'obra de fàbrica vista, l'exterior de maó i la interior de bloc de formigó. Entre ambdues s'interposa una cambra d'aire i el material d'aïllament tèrmic. Les deformacions diferencials originades en la retracció del formigó de l'estructura i les dilatacions de la paret de maó a tota l'altura de l'edifici aconsellaven projectar una solució constructiva que permetés el lliure moviment de la paret exterior en relació amb l'estructura.

La paret exterior de maó presenta un problema d'esveltesa, perquè des de la fonamentació fins al coronament de la coberta hi ha 15,5 m d'altura. Per no incrementar el gruix de la paret –d'11,5 cm de través–, se n'ha de reduir l'esveltesa reduint-ne l'alçària lliure. Així, la paret exterior es descompon en dos trams independents: l'inferior, d'11,5 m d'alçària, i el superior, de 4 m, recolzat sobre una imposta.

La imposta és una peça prefabricada de formigó armat, prou rígida i resistent per suportar el pes del tram superior de la paret, sense que la seva deformació l'afecti. Una deformació excessiva de la imposta transmetria les càrregues de la paret superior a la inferior, cosa que podria acabar provocant-hi fissures si quedés sotmesa a esforços no previstos. Aquest recurs constructiu és determinant en la composició geomètrica del pla de la façana.

La segona solució tècnica de la façana que veurem és l'obertura del buit per a la finestra. El buit es planteja amb la intenció d'ocultar o fer menys visibles els materials i les solucions constructives necessaris per formar-lo, com la llinda i l'escopidor; en definitiva, per desmaterialitzar la seva construcció.



La llinda exterior està formada per un perfil d'acer en forma de L, amb una cartel·la a 45° que uneix ambdues ales i millora la rigidesa de la secció. La paret exterior descansa sobre la base de la L, que és de poc gruix, perquè el seu vol s'ha reduït amb la cartel·la. El perfil en L està unit a la llinda interior de formigó armat, que és finalment l'element que suporta ambdues parets en el buit. La inclinació de la cartel·la també permet evacuar la humitat de la cambra drenada a l'exterior. En conjunt, és una solució brillant perquè resol en una sola peça dues funcions: la mecànica i la d'evacuació de la humitat interior de la cambra d'aire.

L'escopidor també està format per una xapa d'acer prima. Tant la llinda com l'escopidor estan acabats del mateix color que els muntants i els travessers dels bastiments. Les finestres estan formades per un sol full practicable, de manera que només tenen perfils perimetrals. El vidre enfosquit facilita la percepció més abstracta dels buits sobre un parament continu de maó, que semblen retallats a la façana com si fossin en una maqueta.

## La cavity wall

La paret de façana de dos fulls amb cambra d'aire drenada i ventilada ja apareix en la literatura tècnica anglesa a final del segle XIX i s'incorpora a la normativa de construcció l'any 1928. Originàriament, es proposa per millorar l'estanquitat de la façana davant l'acció de la pluja. Més tard, quan s'incorpora l'aïllament tèrmic entre les parets, també es poden apreciar els avantatges higrotèrmics de la cambra ventilada. La cambra a l'estiu millora el confort tèrmic interior i a l'hivern redueix el perill de condensacions dins el mur. Tanmateix, comporta una complexitat constructiva més gran.

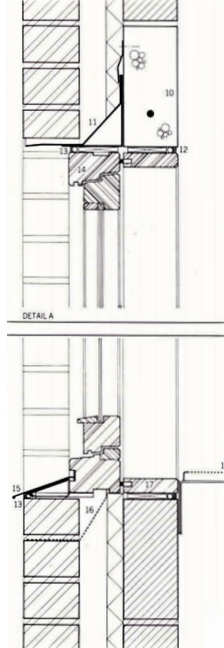
El problema principal que planteja aquesta solució és d'ordre mecànic i de procés d'execució. La paret exterior s'ha de moure lliurement, de manera que no ha de quedar unida als forjats i als pilars. A més, per assegurar el drenatge de la cambra i mantenir la continuïtat del material d'aïllament, és necessari desvincular la paret exterior de l'estructura i mantenir-ne l'estabilitat.

L'estabilitat es resol disposant en les juntes ganxos d'acer inoxidable que uneixin ambdues parets. A mesura que creix l'esveltesa de la paret exterior, és a dir, que augmenta la relació entre l'alçària lliure i el seu gruix, el nombre de ganxos s'incrementa. Però, quan l'alçària de la paret de la façana supera els 10 m, aquest recurs ja no és suficient i es fa necessari reduir-ne l'alçària lliure, segmentant la continuïtat vertical de la façana en diversos trams.

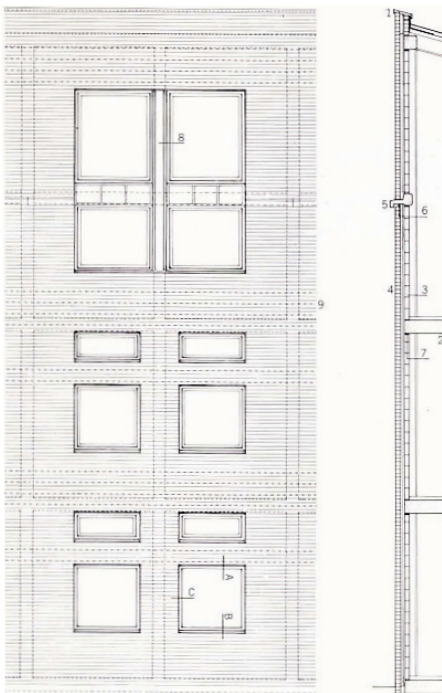
Encara que la paret exterior no participa en el descens de càrregues de l'edifici perquè no forma part de l'estructura, ha de suportar el seu propi pes i les accions horitzontals. Per evitar aquest problema i millorar la solució constructiva, la paret exterior descansa sobre suports rígids i resistents cada dues o tres plantes, tal com ho plantegen les normes europees d'aplicació. El pla de suport coincideix amb el forjat o amb el nivell de les llindes.



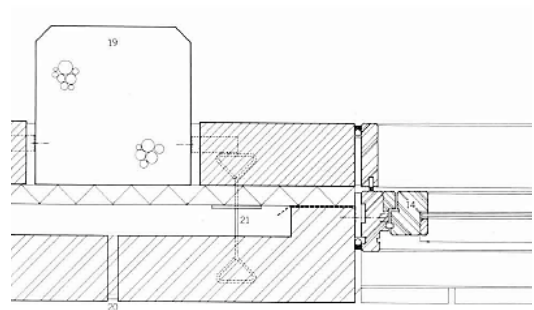
Tram de la façana



Solucions constructives de la linda i de l'ampit



Alçat i secció vertical completa de la façana



Solució constructiva del brancal



→ 12



# La façana de full exterior lleuger

Edificis de la Cité Internationale. Lió, 2006.  
Arquitecte: Renzo Piano Building Workshop

## Els edificis

La Cité Internationale forma part d'un projecte urbà de modernització de la ciutat de Lió a la riba del Roine. És una gran urbanització d'edificis per a ús comercial, habitatges, centres de negocis i de conferències.

La composició de les façanes varia en funció dels usos dels edificis. N'hi ha amb àmplies obertures vidriades, galeries tancades, brise-soleils i grans superfícies sense obertures. No obstant això, tot el conjunt manté una unitat arquitectònica, basada en la utilització del mateix material en els trams de façana opacs i en les gelosies, formats amb grans peces ceràmiques.

## La façana de full exterior lleuger

El sistema constructiu del tram opac de la façana és el resultat de l'evolució de la secció que hem vist en el cas anterior. El full interior continua essent pesat i massís, i l'aïllament que s'hi fixa és el mateix, però el full exterior és lleuger i de poc gruix, i està subjecte a fixacions mecàniques.

La paret exterior d'obra de fàbrica de maó ha estat substituïda per un full més prim, muntat sobre una subestructura. La indústria de la fabricació de peces ceràmiques ha passat de la mida petita del maó al gran format, cosa que ha substituït la tècnica artesana de posada en obra pel muntatge mitjançant un sistema constructiu industrialitzat.

El full exterior ja no és una paret de maons units amb morter, sinó que ara està formada per grans peces ceràmiques, penjades d'una subestructura d'acer galvanitzat i col·locades amb els junts oberts.

La imatge de la paret de maó es basa en la textura, el dibuix menut dels junts de morter, que és el paradigma de la tectònica de l'arquitectura tradicional. El full exterior penjat és d'un material ceràmic com el maó, però de dimensions més grans i junts més primers, de 8 mm de gruix. El parament de la façana manté la planor i l'alineació dels junts mitjançant un sistema precís de regulació de la subestructura de suport. La mida de les peces i el seu sistema de fixació redueixen el nombre de junts entre elles, el seu gruix i l'aspecte, perquè són buides sense morter.

L'aparell de maons a la paret d'obra de fàbrica assegura la condició necessària del lligam entre ells. A la façana penjada no és necessari: uns perfils verticals primers en separen les grans



peces i ordenen l'alineació de les juntes. Passem de la forma massiva tradicional, a la plana, lineal i lleugera de les formes industrials.

El funcionament higrotèrmic i respecte de l'estanquitat de la façana es manté fonamentalment com en el cas d'estudi anterior. Els junts oberts permeten la ventilació de la cambra d'aire. La cara posterior del full exterior, perfectament plana, facilita el moviment laminar de l'aire dins la cambra i el descens de l'aigua cap a l'exterior. La continuïtat vertical de la cambra és millor que en el full de fàbrica de maó, en què ha de descansar sobre un suport pla cada 10 m d'alçària. Tanmateix, aquesta continuïtat és un inconvenient a l'hora d'evitar la propagació de fums i foc. Així, la cambra està segmentada en trams curts i a l'interior s'hi col·loca un material d'aïllament que no és inflamable ni combustible. En aquests edificis, la cambra és interrompuda a l'alçària dels forjats amb un perfil d'alumini.

Des de lluny, la façana sembla formada per una làmina llisa, d'aspecte gairebé metàl·lic. Una mirada més atenta ens permet apreciar-hi el material ceràmic. La composició de la façana, amb junts horitzontals buits, perfils metàl·lics situats al forjat i junts verticals continus a cada tram, mostra una imatge industrial i tecnificada de la façana.

### **Les peces de grans dimensions**

Les peces utilitzades en aquest edifici estan formades per argila endurida en un procés de cocció al forn a altes temperatures. El procés d'emmotllament de les peces planes es realitza per extrusió, encara que les peces especials que resolen les cantonades són premsades. En l'extrusió, la barreja d'argila passa a través d'un broquet que dona la forma definitiva de la secció. A continuació, les peces es tallen segons la longitud establerta, s'inicia la fase d'assecatge i la cocció a una temperatura de 1.200 °C.

Les peces tenen una secció buida de 40 mm de gruix. La resistència obtinguda per la cocció a alta temperatura i el seu gruix permeten fabricar-les de mides grans. D'aquesta manera, la complexitat del procés de muntatge se simplifica, perquè el nombre de muntants de la subestructura i de fixacions és menor. Les peces tenen mides diverses: fan de 20 a 42 cm d'alçària, una longitud de fins a 150 cm, i pesen 61 kg per m<sup>2</sup>.

El sistema de fixació consisteix en uns clips d'acer inoxidable que es bloquegen en un junt corregut a la base de la peça. El clip va fixat als muntants verticals de la subestructura i aquests a la paret de suport mitjançant fixacions regulables. Aquest sistema de muntatge facilita la substitució de les peces, quan és necessària.

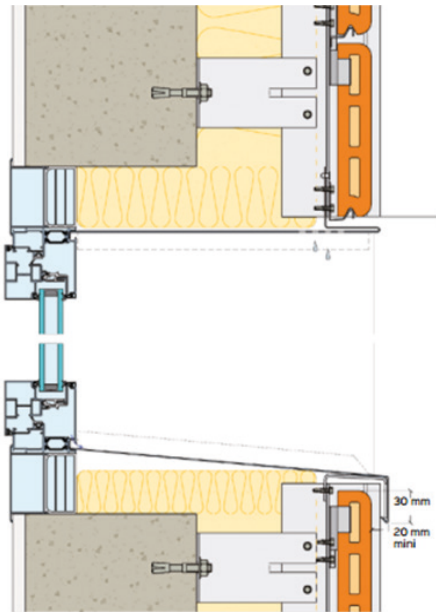
En projectes posteriors, Renzo Piano ha continuat utilitzant i desenvolupant aquest sistema constructiu, en edificis d'habitatges i d'oficines a Itàlia i a Alemanya.



Testera



Tram de façana de peça ceràmica



Solució per a l'obertura de la finestra



Sistema constructiu de la façana



→ 13



# La façana amb aïllament tèrmic per l'exterior

Edifici d'habitatges a Vallecas. 2010.  
Arquitectes: Oscar Rueda i María José Pizarro

## Edifici

És un edifici d'habitatges de promoció pública en el nou eixample de Vallecas, situat en una parcel·la quadrada amb un xamfrà orientat a l'oest. Els arquitectes argumenten que la forma singular del volum de l'edifici és el resultat de decisions que van prendre amb paràmetres més pròxims a les lleis de la termodinàmica i a models teòrics de la física que als conceptes habituals de composició.

En el volum definit per la normativa, s'hi introdueixen una sèrie d'operacions que pretenen respectar la imatge unitària del conjunt i aconseguir uns habitatges més ben orientats, amb més confort tèrmic i lluminós.

## La volumetria

La proposta volumètrica disposa més habitatges orientats al sud i augmenta el perímetre de la façana per tal d'aconseguir més il·luminació i assolellament, davant la solució inicial d'illa tancada que redueix la longitud de la façana.

El volum de l'edifici és continu a les tres primeres plantes. A partir d'aquesta alçada, es modela en dos volums, segons les necessitats de llum i sol, que n'acaben definint la identitat arquitectònica. El volum definit per la normativa es transforma mitjançant el buidatge del front nord-oest i assoleix la superfície més gran possible de façana orientada al sud, ajustant-ne l'edificabilitat. Així mateix, es redueix l'alçària del volum sud i es crea un pla inclinat per tenir assolellament a les façanes menys favorables. De la planta sisena a la vuitena, la façana s'inclina i configura una envolupant contínua que resol el problema dels àtics. A partir de la tercera planta, queden clarament definits dos volums, amb habitatges passants de doble orientació: al sud, les zones d'estar i, al nord, les habitacions.

## Solució constructiva de l'envolupant

Un dels aspectes de la composició de la forma a l'arquitectura contemporània és l'intent de donar continuïtat material de la façana i la coberta, per tal de resoldre el volum d'una forma més abstracta i menys tectònica. En aquest edifici la inclinació dels plans de les façanes proposa l'ambigua condició de façana i coberta inclinada del perímetre al mateix temps. Així, la singular solució constructiva consisteix en facilitar la continuïtat material dels plans verticals i inclinats de la façana, de forma coherent amb la idea d'abstracció del volum que es pretén.



L'envolupant de l'edifici està resolta amb l'aplicació del sistema d'aïllament tèrmic exterior, anomenat de forma general SATE. La solució constructiva està formada per un suport rígid de paret d'obra de fàbrica a la façana, i taulers de partícules de fusta hidròfugs fixats a una subestructura de xapa plegada d'acer a la façana inclinada, sobre els quals s'aplica el SATE. La secció del sistema està formada per plaques d'aïllament tèrmic disposades sobre el suport amb unes fixacions de pont tèrmic mínim. Sobre l'aïllament, s'estén el morter de ciment amb lligants orgànics, armat amb una malla de fibra de vidre a l'interior que redueix el nombre de junts de retracció habituals. L'avantatge principal d'aquesta solució és l'eliminació dels ponts tèrmics en la unió de la façana amb el forjat i en la formació de les obertures de façana. També incrementa la inèrcia tèrmica de la façana, la impermeabilitat a l'aigua de pluja i la permeabilitat al vapor d'aigua i, en conjunt, redueix el risc de condensacions.

Els buits de façana es resolen utilitzant-ne tres tipus. A les sales d'estar, són de 2,40 m d'amplada i estan orientats al sud-oest; a les habitacions són de 0,75 m d'amplada i estan orientats al nord-oest, i als estenedors i als nuclis verticals de comunicació són de 0,20 m d'amplada. El funcionament energètic de l'edifici es completa amb un sistema de captació d'energia solar tèrmica.

### **El sistema d'aïllament tèrmic exterior (SATE)**

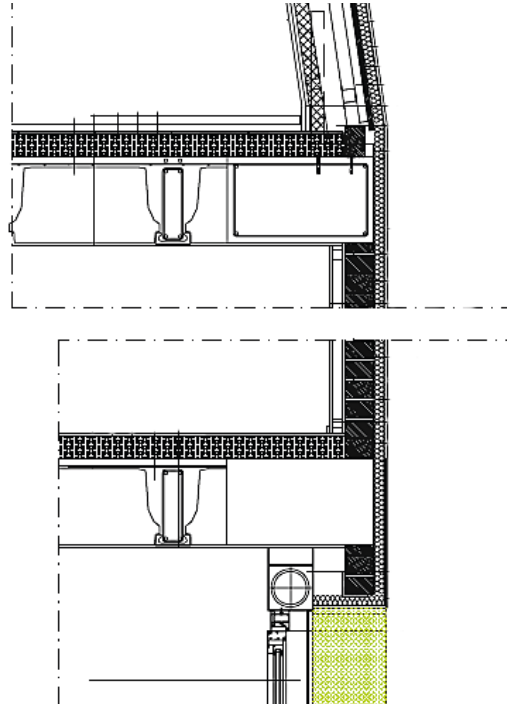
Les façanes construïdes amb el SATE presenten característiques diferents de les façanes convencionals. La principal és que l'aïllament se situa a la cara exterior de la paret. És una solució que es va plantejar inicialment per resoldre la rehabilitació tèrmica d'edificis d'habitatges, però s'ha estès a l'obra nova.

L'aïllament va fixat al suport rígid amb un adhesiu químic i fixacions mecàniques. Pot ser plàstic o d'origen mineral (per exemple, llana de roca), que té un comportament millor davant del foc. El material d'acabat és un morter de ciment que incorpora resines sintètiques en dispersió o emulsions siliconades que registren valors alts d'impermeabilitat, resistència i flexibilitat.

Es compon de dues capes, entre les quals es disposa una armadura de fibra de vidre que es fixa mecànicament al suport. La primera capa del morter és de base, per tal d'aconseguir la planor i l'adherència al suport, sobre el qual es disposa la malla de fibra de vidre. A sobre, s'hi estenen les capes d'imprimació i acabat, o simplement d'acabat. En conjunt, el revestiment té 5 o 6 mm de gruix. A les zones baixes de l'edifici, com que estan a l'abast de possibles accions vandàliques, el sistema ha de ser reforçat amb una doble malla i ha de tenir més gruix. O pot ser substituït per un material diferent, més resistent i adient al lloc.



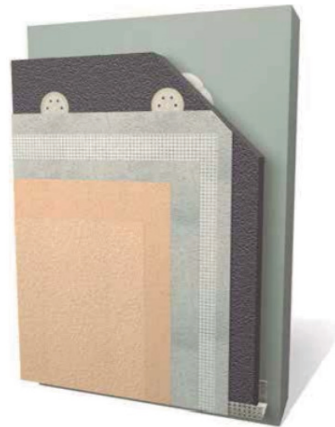
Vista des de la cantonada



Secció constructiva de la façana



Alçat del volum longitudinal



Especejament d'una mostra del SATE



→ 14



# La finestra

Casa Malaparte. Punta Massullo. Isla de Capri. 1937.  
Arquitectos: Curzio Malaparte i Adalberto Libera

## La casa

L'escriptor italià Curzio Malaparte es va fer construir una casa en un penya-segat de l'illa de Capri sobre el golf de Palerm, des d'on hi ha unes vistes espectaculars sobre el mar. L'autor del projecte va ser l'arquitecte Adalberto Libera, que era un dels més reconeguts arquitectes racionalistes italians. Al llarg del procés de construcció, Malaparte i el constructor Amitrano van modificar el projecte inicial. No està clar qui hi va aportar més, però finalment Malaparte, cansat del racionalisme excessiu del projecte original i de la seva escassa mediterraneïtat, va acabar transformant-lo. Segurament, un dels canvis van ser les finestres, de les quals parlarem a continuació.

## La immaterialitat de la finestra

Abans de parlar de les finestres de la casa de Capri, cal fer una referència prèvia a l'obra del pintor nord-americà Edward Hopper. Un dels temes que repeteix en la seva obra és el del personatge a prop de la finestra o mirant a través d'ella. En tots dos casos, el paisatge entra a la pintura a través de la finestra que hi ha al davant del protagonista. A les pintures de Hopper, la finestra, entesa com a element tècnic i funcional, desapareix. Fins i tot sembla que el buit no té vidre, perquè no hi ha reflexos ni distorsió òptica del paisatge. El buit de la finestra no té muntants, travessers, peanya ni ferramenta, que s'interposarien en la relació entre el personatge i el paisatge. En definitiva, és una desmaterialització de la finestra com a element constructiu.

A la casa de Capri, Curzio Malaparte pretén desmaterialitzar la finestra. A la pel·lícula *La pelle* (1981) de Liliana Cavani, basada en la novel·la homònima de Malaparte, el protagonista –alter ego de l'autor– explica a una convidada, davant d'una finestra, que els paletes van construir la casa i ell mateix hi va posar el paisatge. Així doncs, provarem d'explicar com Malaparte va dissenyar unes finestres que satisfien les exigències tècniques i, sobretot, que permetien emmarcar les vistes espectaculars sobre els penya-segats de l'illa.

## La solució constructiva

Amb la tecnologia de què disposem actualment, és perfectament possible tenir una finestra en la qual no es vegin ni l'estructura ni els mecanismes. Sovint aquestes propostes sacrifiquen funcions com la ventilació, que s'ha de resoldre amb altres mecanismes, o la solució per facilitar la neteja des de l'interior.



Les finestres de la casa tenen formes diferents i, des de l'exterior, segueixen una composició desordenada. Les mides de les obertures són petites en relació amb el parament de la façana i palesen que les parets de façana són l'estructura de l'edifici. La intenció de Malaparte era introduir el paisatge a la sala principal, com si fos una pintura, de manera que les finestres emmarquen les vistes sobre els penya-segats.

A la sala principal de la planta superior, es pot veure que hi ha quatre finestres, dues a cada façana. Per resoldre el problema de desmaterialitzar la finestra, prescindint dels muntants i dels travessers que entorpeixen la visió del paisatge i trenquen la unitat del buit, cal pensar-la més enllà dels recursos formals i tècnics habituals.

La finestra més interessant és la de forma quadrada que gairebé està enrasada amb la cara exterior de la paret de façana. Està integrada per dos fulls: l'inferior és fix i està subjecte a un bastiment prim de fusta que resta mig amagat, i el full superior, sense bastiment, gira sobre un eix horitzontal. Per tant, la finestra tan sols té el bastiment perimetral, en comptes de tenir el seu propi bastiment i el dels fulls. L'eix horitzontal de la finestra practicable no està format per un travesser, perquè la dividiria en dues parts. Això se soluciona amb unes pinces que subjecten el full de vidre a cada costat. La rigidesa i la resistència del vidre resolen la funció d'eix de gir de si mateix. Aquest recurs és molt hàbil per solucionar la ventilació i la neteja des de l'interior. Per tal d'assegurar millor l'estanquitat enfront de l'aigua, el vidre del full superior es munta uns quants centímetres sobre l'inferior.

L'altre tipus de finestra de la sala és rectangular i més ample que l'anterior, de manera que la finestra giratòria no és una solució raonable. Els fulls de la finestra estan formats per vidres sense bastiments que es desplacen horitzontalment sobre carrils, com en les finestres corredisses. El gran buit de la finestra manté la seva unitat sense que cap muntant la interrompi. Finalment, el perímetre del buit interior s'emmarca amb uns tapajunts amples que tenen una secció com la dels marcs dels quadres.

Si les finestres estiguessin enrasades a la cara interior de la paret de façana, la unió entre l'obra i la finestra quedaria més protegida davant l'acció combinada del vent i de l'aigua; a més, el tapajunts milloraria l'estanquitat enfront de l'aigua de la unió entre el bastiment i l'obra. No obstant això, en conjunt, la solució tècnica de la idea de finestra-paisatge de Malaparte és realment interessant.



Office in a small city. Pintura d'Edward Hopper de 1953



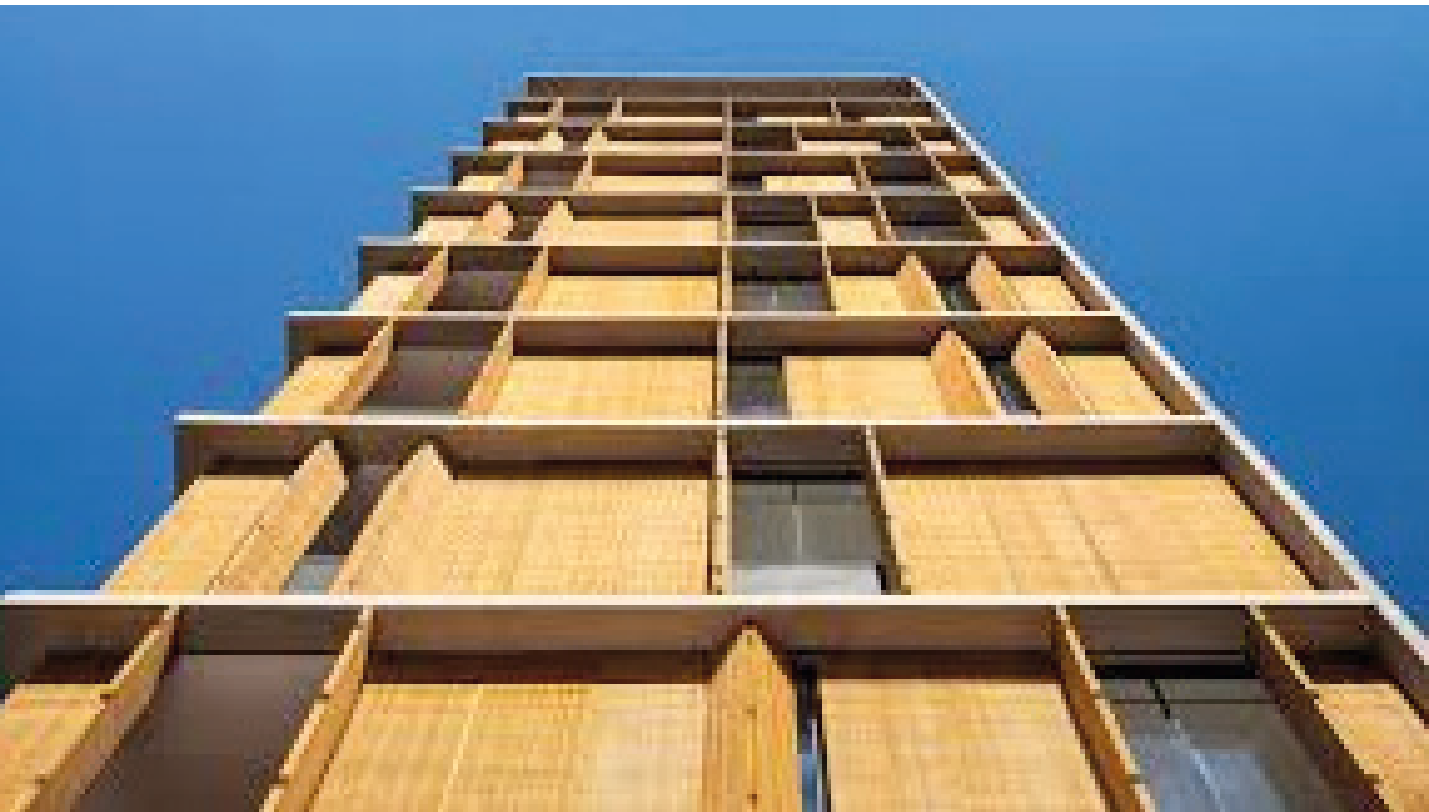
Espai de la sala principal



Finestra a la manera del bastiment d'un quadre



La finestra més gran



→ 15



# La protecció solar

Edifici vertical ITAIM. São Paulo, 2014  
Arquitectes: Studio MK27, M. Kogan i C. Castroviejo

## L'edifici

És una torre d'habitatges de tretze plantes d'altura, amb un sol habitatge per planta. El nucli dels accessos és interior i totes les habitacions tenen façana a l'exterior. Els dormitoris i la zona de dia estan orientats al nord i a l'est. Com que l'edifici està situat a l'hemisferi sud, ambdues façanes estan ben assolellades.

La versatilitat de la planta de l'habitatge permet adequar els espais a les necessitats de l'usuari. La sala d'estar té grans finestrals i una terrassa que augmenten la relació amb l'exterior. A l'extrem nord-est de cada habitatge hi ha una terrassa que prolonga la sala d'estar cap a l'exterior per mitjà de finestres corredisses. Al llarg de les façanes nord i est, es disposen grans finestres que ofereixen àmplies vistes de la ciutat.

Les finestres estan protegides per plafons calats de fusta que determinen la imatge característica de l'edifici. Els usuaris poden manipular els plafons per tal d'adaptar-los a les diverses condicions ambientals. Les altres dues façanes són parets opaques de formigó armat in situ.

## La protecció solar de la façana

Les façanes vidriades del terra al sostre queden protegides del sol per uns plafons mòbils que permeten controlar l'assolellament i la llum que rep l'espai interior. Els usuaris poden millorar el seu confort desplaçant-los o plegant-los, segons les seves necessitats.

Els plafons són de fusta calada, semblants als muxarabis que s'utilitzaven a l'arquitectura colonial portuguesa, i regulen la llum que entra a l'habitatge i l'excés de radiació solar. Quan les finestres corredisses estan obertes, els plafons calats també faciliten la circulació de l'aire per refrescar les habitacions. Els plafons, formats amb llistons de fusta, tenen moltes perforacions de mides petites, obertes al pas de l'aire que hi circula a través. D'aquesta manera, l'aire guanya velocitat i produeix un efecte refrescant.

El més interessant d'aquesta protecció solar, a banda de satisfer la funció de control ambiental de l'habitatge, és la versatilitat de posicions que pot tenir per tal d'adaptar-se a les exigències variables del pla de la façana. Els plafons protegeixen i deixen veure l'exterior, tamisen el pas de la llum i del sol o poden estar totalment oberts. Quan les proteccions estan tancades, l'edifici recupera la imatge opaca i massissa; si estan obertes, la seva imatge és més lleugera i transparent. A la nit, quan les proteccions es tanquen i encara hi ha llum a l'interior, l'edifici adquireix una imatge lluminosa, que projecta una claror tènue a través dels plafons calats.



Durant el dia, les proteccions poden estar completament obertes, plegades cap enfora ocupant l'espai de l'estret voladís que envolta la façana, deixant els envidraments vistos a l'exterior. El voladís té la funció de protegir del sol la façana i l'espai interior.

La mobilitat dels plafons permet acomodar la llum exterior a les exigències d'ús de l'espai interior, de manera que no es necessita il·luminació artificial durant el dia. La possibilitat de moure els plafons converteix la façana de dia en un element viu, variat, que explica els diferents usos de l'habitatge amb la composició dispersa dels plafons i dels envidraments

## El muxarabi

És un dispositiu de ventilació natural característic de l'arquitectura tradicional dels països àrabs. D'aquests països, va passar a la península Ibèrica, on podem trobar-ne, per exemple, a les façanes de l'Alhambra de Granada.

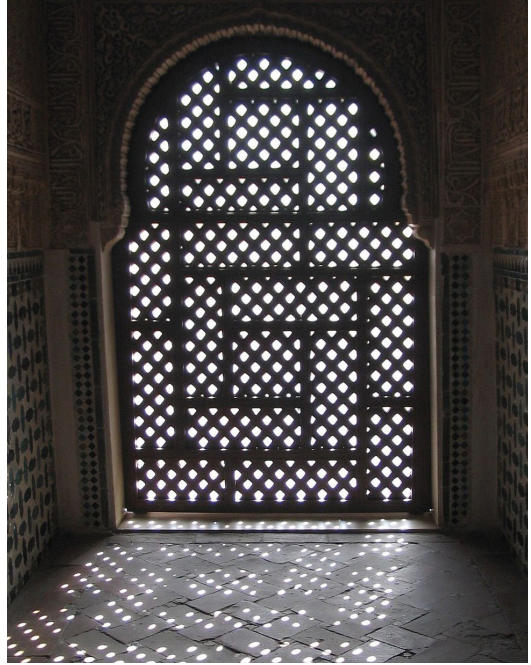
Els colonitzadors portuguesos el van difondre a les zones càlides del Brasil, incorporant-lo a l'arquitectura colonial. Més tard, ja al segle XX, es va utilitzar com a element singular de l'arquitectura moderna al Brasil. La geometria dels dibuixos que formen els buits del plafó admet diverses possibilitats formals.

L'arquitectura brasilera utilitza proteccions solars diverses: les gelosies, els cobogos i els muxarabis hi són habituals. Aquest últim es diferencia dels altres per la relació visual que estableix entre l'exterior i l'interior, que permet mirar sense ser vist. A més, quan l'aire que travessa el muxarabi es posa en contacte amb superfícies humides –d'estanys a recipients plens d'aigua–, l'evaporació de l'aigua causa un efecte refrescant en l'ambient. És un element arquitectònic que manté una relació fàcil i fluida amb l'entorn i redueix el consum d'energia.

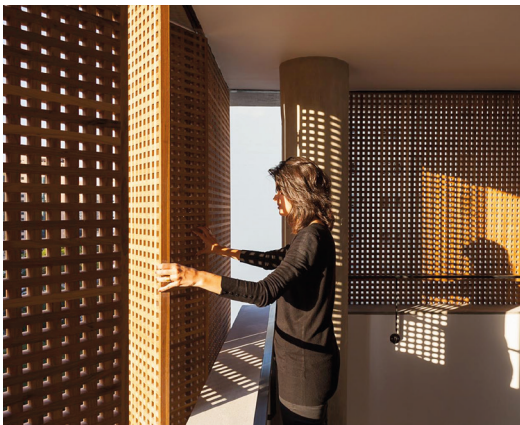
L'arquitectura contemporània, cada vegada més atenta als fenòmens termodinàmics de les façanes, ha incorporat aquest element constructiu entre les solucions de protecció solar. Els trobem construïts amb materials diversos: morters armats amb fibres, fusta, xapes metàl·liques diverses, materials compostos i ceràmica.



Façana



Mucarabi a La Alhambra de Granada



Ombra del mucarabi



Detall de façana



→ 16



# La coberta inclinada

Casa de Te Boa Nova. Matosinhos. Portugal, 1958  
Arquitecte: Álvaro Siza Vieira

## L'edifici

El restaurant Casa de Te està construït en una zona residencial de Porto. L'edifici s'assenta sobre un cingle de poca altura, davant d'una platja de roques i pedres a la costa de l'oceà Atlàntic.

La geometria de la planta s'adequa a la topografia del lloc i s'articula per definir-ne els dos espais principals: el menjador i el saló de te. Els volums de la cuina i dels espais de treball que serveixen al menjador estan semisoterrats. La sala del menjador està elevada per sobre de les roques, relacionada amb l'entrada per un atri i l'escala.

L'esforç d'adequació de l'edifici al paisatge és més evident en la forma en què la façana s'obre a l'espai exterior, més oberta davant del mar i tancada a la façana d'accés oposada. Uns grans alers correguts, que són prolongació dels sostres de les sales, protegeixen i modifiquen la intensitat de la llum que ve del mar.

## La forma de la coberta

Les cobertes estan formades per l'addició de diversos volums que aboquen aigües a la platja de roques davant del mar i a la cara oposada, als accessos. La geometria de la coberta no té una forma tan regular com les tradicionals. Els plans estan limitats per arestes en diferents direccions i els careners estan a alçàries desiguals.

El perímetre de la façana al mar és trencat perquè s'adapta a la topografia, al recorregut del sol i a les millors vistes. Els vessants de les cobertes van girant lleument i prenen direccions diferents entre ells. La intersecció dels vessants de les cobertes són les diagonals que formen els aiguafons.

Els vessants de coberta enfrontats no es troben als careners, perquè tenen alçàries diferents. Els espais interiors del restaurant varien en altura en funció del seu ús. La llibertat de les alçàries d'aquests volums facilita que entre el nivell més alt i el més baix hi hagi un parament vertical vidriat que s'utilitza per captar la llum natural i introduir-la al restaurant de forma controlada. La geometria de la coberta no és regular i aparenta un cert desordre compositiu, però és eficaç a l'hora de proporcionar ventilació i il·luminació a les zones més fosques de l'edifici.

La posta de sol davant del mar és una de les atraccions del lloc, de manera que la façana dels salons del menjador està orientada a oest. En aquesta orientació, no és fàcil protegir la façana de la radiació del sol, que hi incideix amb un angle tan baix. Si bé la coberta té un



gran voladís que protegeix la façana, aquest recurs no és prou eficaç, sobretot a les últimes hores de l'estiu. El voladís, en canvi, sí que és un recurs útil enfront de la pluja, que és usual en aquesta costa. Si no ve un fort vent de mar, permet veure protegit l'espectacle de la pluja sobre la platja de roques i el mar.

## La secció de la coberta

En les diverses seccions de l'edifici, hi podem apreciar diversos canvis d'inclinació dels vessants de coberta. Al pla vertical de trobada d'uns sobre els altres, es disposen finestres, que capten la llum a mesura que l'interior de l'edifici s'allunya de la façana marítima. A la secció interior de la coberta, uns plans a manera de pantalles reflecteixen la llum natural. Els vessants de coberta tenen uns pendents molt baixos per a una coberta de teules d'aquestes característiques. Segurament, les rehabilitacions que ja s'hi han fet dues vegades n'han reforçat l'estanquitat amb làmines o membranes impermeables.

El pla inferior de l'ala en voladís de la coberta mostra l'estructura de cabirons de caoba que la suporta. La continuïtat del pla de la coberta inclinada en l'espai interior permet que, quan s'obren les portes de la façana al mar, l'espai exterior flueixi cap a l'interior. És destacable la solució hàbil de les fusteries de les façanes dels menjadors que s'obren lliscant verticalment cap avall i queden amagades al terra, de manera que a penes es percep la separació entre els espais.

El canaló del vessant que aboca aigua a la platja queda ocult a la vora inferior de l'aler, el qual desguassa en els extrems mitjançant unes gàrgoles. Les teules de la primera filada resten ocultes per un davanter de fusta que forma l'aresta de la vora, que segueix una línia trencada i tensa.

En conjunt, els diferents volums de la coberta i la vora de l'aler presenten solucions constructives allunyades de les tradicionals de les cobertes inclinades de teules.

## Les teules romanes

Les teules romanes tenen origen romà i van arribar a la península Ibèrica durant els segles de domini imperial. Són d'argila cuita i tenen una forma poc comuna. A diferència de la teula àrab, on les teules són totes iguals, els romans distingeixen entre la teula canalera i la teula cobertora. La teula canalera, anomenada tègula, és de forma rectangular i té els costats aixecats a manera de pestanya. La junta horitzontal entre els costats menors de la teula és encavalcada. El solapament és una unió a "mig tall" que es forma en rebaixar els extrems de les arestes laterals de les teules. La teula cobertora s'anomena ímbrex i té una forma lleugerament troncocònica que monta sobre dues teules canaleres i l'espai buit que queda entre elles.

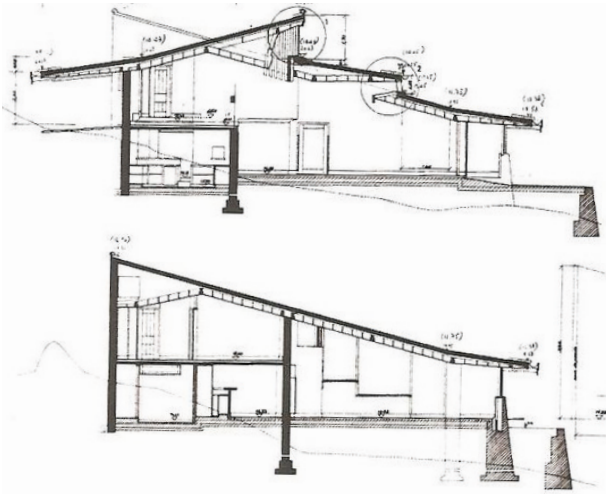
A l'imperi Romà, el número de tègules que s'utilitzaven era un indicador útil per conèixer les dimensions aproximades de la coberta d'un edifici i servia per mesurar la superfície a les ordenances urbanes de les ciutats.



Vessant de la coberta de teules



Pla inferior de l'aler de la coberta



Seccions transversals



Teules romanes i canaló



→ 17



# Coberta plana transitable

Escola infantil a Fuji, Japó, 2007.  
Arquitecte: Takaharu + Yui Tezuka Architects.

## L'escola

La parcel·la de l'edifici té forma irregular, limitada per un quadrilàter de costats que no són paral·lels, cosa que dificulta el desenvolupament d'una planta ortogonal, com és habitual en aquests centres.

L'escola s'adapta a la parcel·la mitjançant una planta en forma de corona oval, que defineix un volum tancat amb un pati al centre. La corona oval és excèntrica i l'eix més llarg segueix la direcció de la diagonal major de la parcel·la. La separació entre el perímetre exterior i l'interior de la corona és variable: a l'eix més llarg, la distància és més gran en un extrem que a l'altre.

L'edifici té una sola planta i la coberta és una gran terrassa que permet augmentar l'àrea de jocs dels nens grans. La seva poca alçària permet veure des del pati l'activitat dels nens a la terrassa. Les façanes estan formades per grans fusteries vidriades, de manera que la coberta sembla flotar sobre la planta baixa.

## L'estructura de la coberta

La geometria de l'estructura de la planta de la terrassa és complexa, com correspon a una forma corba que no segueix una geometria radial, de manera que l'estructura de perfils d'acer laminat s'ordena en tres classes, segons la seva funció.

La primera classe de perfils defineix una geometria de tres ovals, formats pel perímetre interior i exterior de la terrassa, i un altre oval al centre per reduir la distància entre els dos perimetrals. A la segona classe, els perfils majors es disposen seguint una línia trencada i en diagonal, per formar una corona oval triangulada al seu interior; com si fos una encavallada plana tancada. Així, el pla de l'estructura es fa rígid davant d'accions horitzontals. La tercera classe de perfils a manera de corretges es disposa de forma perpendicular als perfils del perímetre de l'oval.

El forjat de la terrassa està format per una xapa d'acer galvanitzat de secció en forma de greca, sobre la qual s'aboca formigó armat. La xapa d'acer està situada per sota de l'ala superior dels perfils principals d'acer. La situació de la xapa i de l'aïllament per sota de l'ala dels perfils obliga a retallar ambdós materials per tal d'adaptar-los a la complicada geometria definida per la malla de perfils perimetrals i en diagonal. Es podria haver reduït la complexitat d'aquesta solució constructiva si ambdós materials s'haguessin disposat sobre l'ala superior dels perfils. En aquest cas, el formigó s'abocaria sobre la xapa d'acer per formar una llosa contínua més senzilla.



## La coberta plana transitable

La coberta de l'edifici és una aplicació del concepte de coberta transitable, a manera de terrassa, que els arquitectes ja havien desenvolupat a la casa-terrasa, a Hatano-shi. La idea més interessant és que es pot utilitzar com a espai exterior per a activitats a l'aire lliure. En definitiva, la coberta es converteix en la segona planta de l'escola.

Encara que la forma de la coberta sembla simple, no ho és. En primer lloc, els perímetres dels dos ovals es mantenen plans, però a alçàries diferents: una mica més alt l'exterior que l'interior. Com que la planta de l'oval és excèntrica, és a dir, la distància entre ambdós perímetres varia entre les dues seccions més distants, la secció de la terrassa és lleugerament corbada.

El terra de la terrassa està format per un paviment flotant de fusta, una mica inclinat cap al pati inferior per tal de facilitar el recorregut de l'aigua cap al canaló. La superfície de la terrassa està interrompuda per exutoris per a la ventilació i l'entrada de la llum a les aules de la planta baixa. També uns grans buits oberts a la coberta deixen pas als arbres que ja hi havia al terreny i són un element més de joc.

El paviment de la terrassa és de delgues de fusta de direcció recta sobre una subestructura de suport de perfils de fusta en dues direccions. Les delgues estan separades entre si de manera que deixen una petita junta oberta perquè l'aigua de la pluja caigui a l'interior de la cambra ventilada de la coberta, on és recollida per les làmines impermeables.

En incorporar els arbres existents a la terrassa, sembla com si fos sobre el terreny. L'ombra dels arbres protegeix la coberta de la radiació solar directa i la cambra ventilada protegeix l'edifici de l'efecte de la radiació solar. El paviment de la terrassa s'escalfa per efecte de la radiació, que es dissipa cap a l'exterior i cap a la cambra ventilada, que està a una temperatura inferior a la del paviment. Per sota de la llosa de la coberta, es disposa l'aïllament tèrmic.

El perímetre interior de la terrassa resol diverses funcions. Un canaló perimetral de gran secció recull l'aigua de pluja i l'aboca en unes gàrgoles, que deixen caure lliurement l'aigua sobre el pati. La caiguda lliure de l'aigua és una atracció per als nens.

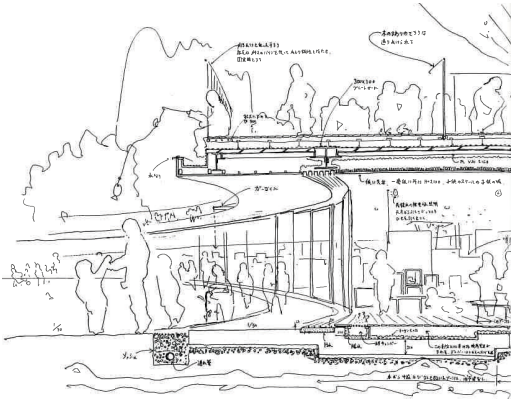
El disseny de la barana perimetral de la terrassa també té interès. A la vora de la terrassa no hi ha cap sòcol, perquè els nens s'hi asseguin deixant penjar les cames sobre el canaló perimetral. Així poden veure i participar còmodament de les activitats que es realitzen al pati central. Per assegurar l'ús de la terrassa i del perímetre evitant caigudes, la barana està formada per barrots verticals d'acer, que permeten la vista del pati inferior, separats a una distància que tan sols deixa passar les cames.



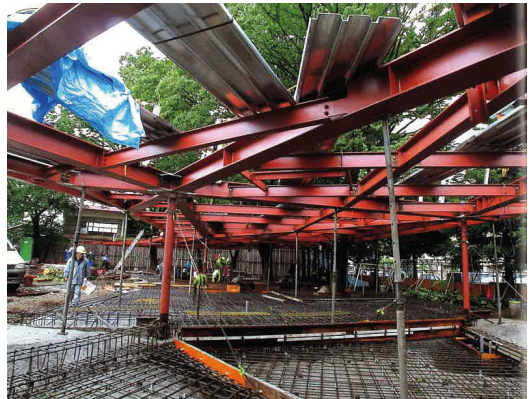
Terrassa-pati



Façana des del pati inferior



Secció constructiva de l'aler de la terrassa



Secció constructiva de la terrassa



→ 18



# La coberta de xapa metàl·lica

Palau de Justícia. Estrasburg, 2014.  
Arquitectes: Garcés-De Seta-Bonet i Serra-Vives-Cartagena.

## L'edifici

El projecte de l'edifici va guanyar el concurs internacional per a la rehabilitació i ampliació del Palau de Justícia de la ciutat d'Estrasburg. El palau original s'havia construït a final del segle XIX en l'estil de l'imperi alemany que llavors ocupava la ciutat. L'any 1978, es va ampliar amb l'addició d'una planta coronada per una coberta de xapa metàl·lica; tanmateix, l'edifici no satisfia les necessitats funcionals i va caldre rehabilitar-lo totalment d'acord amb les necessitats tècniques i funcionals actuals.

El projecte es proposa resoldre l'ordenació funcional de les sales d'audiència i dels serveis administratius necessaris, per a la qual cosa es construeix un nou cos central i un volum edificat sobre la coberta original. Des de l'exterior del Palau, l'ampliació més visible és la nova coberta de les sales. L'edifici recupera les façanes neoclàssiques originàries. L'ampliació relaciona l'arquitectura neoclàssica amb el llenguatge contemporani de la coberta, i recupera per a la ciutat el seu valor patrimonial.

## La nova coberta

La primera actuació sobre la coberta existent fou la demolició de la planta que s'hi havia afegit, per tal de recuperar la composició original de la façana. L'actuació següent va ser la construcció d'un gran volum de coberta que conté l'ampliació de les noves sales i dependències auxiliars.

El volum de la coberta està limitat per un perímetre vertical de façana de 2 m d'alçària com a base, que es retira 2 m del pla de les façanes del Palau, a fi de conservar la forma neoclàssica original de l'edifici. A partir d'aquesta alçària, emergeixen els plans inclinats de les cobertes. Tot el nou volum de la façana i la coberta està acabat amb el mateix material i construït amb la mateixa tècnica.

Les alçàries de la coberta són variables: van des dels 8 m dels volums de les dues plantes, als 13 m de les cobertes de les sales d'audiència. L'alçària dels espais situats al perímetre de l'edifici és diferent, de manera que, per mantenir constant el pendent dels vessants exteriors de la coberta, la línia d'intersecció dels plans de coberta al carener és inclinada i en diagonal respecte de la planta. Els diferents volums són el resultat de les característiques espacials de les sales d'audiència de més alçària lliure, amb il·luminació zenital, i dels espais més reduïts destinats a despatxos, il·luminats amb finestres a la coberta. Aquestes solucions geomètriques i constructives permeten que la coberta adopti una imatge contemporània, emprant el llenguatge de l'arquitectura moderna



La versatilitat funcional i geomètrica de les xapes metàl·liques mostra la seva capacitat de resoldre les geometries complexes de les cobertes del Palau, que manifesten la varietat dels espais que conté. Tres volums a dues aigües recorren el perímetre de l'edifici, el pati central i la sala dels passos perduts. I quatre grans piràmides truncades, a l'interior del Palau, il·luminen amb àmplies claraboies planes el sostre de les grans sales. Les piràmides estan situades una al costat de l'altra i tenen diferents mides, en funció de les dimensions de les sales.

A la secció transversal de les piràmides, els plans inclinats de les cobertes segueixen una línia trencada a manera d'ona. A les crestes de l'ona, se situen les claraboies a diferents alçàries i, a les valls, se situen els canalons de recollida de les aigües que baixen pels vessants de les cobertes. Per mantenir l'aspecte continu del revestiment de xapa metàl·lica a la trobada entre els plans de la coberta i la façana, els canalons de recollida d'aigua queden ocults.

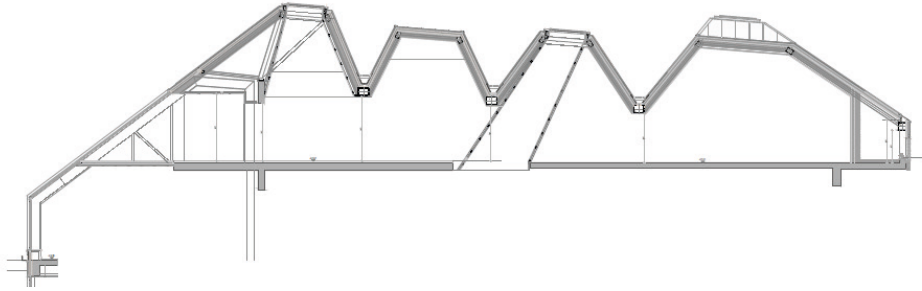
L'estructura de la nova coberta està formada per pòrtics paral·lels de perfils d'acer laminat, que tenen directrius diferents que s'ajusten a les seccions variables de la coberta. Els perfils vénen mecanitzats de taller i s'uneixen a l'obra mitjançant cargols.

La solució constructiva del tram general de coberta no és senzilla, perquè és una coberta lleugera que no ofereix els avantatges de tenir un suport pesat, que facilita l'aïllament enfront del soroll exterior, l'estanquitat i la resistència al foc, entre d'altres prestacions. La solució ha estat la superposició de capes de materials especialitzats, de característiques físiques diferents, que en conjunt satisfan els exigents requisits de seguretat i aïllament de les sales d'audiència. Així, sobre l'estructura es disposa una secció constructiva que alterna taulers de fusta, xapes d'acer i plaques de guix laminat, amb materials d'aïllament tèrmic, acústic i contra el foc.

### **La xapa metàl·lica**

La xapa d'acer de la coberta és d'un color metàl·lic gris clar, que reflecteix la llum tamisada que hi ha sovint a la ciutat d'Estrasburg. L'efecte de la llum reflectida fa més lleugera la imatge del gran volum de la coberta.

S'ha utilitzat xapa d'acer inoxidable ferrític AISI 441 estabilitzat amb niobi i titani, que proporciona una bona resistència mecànica i durabilitat enfront la corrosió. Les planxes de xapa es conformen a la mateixa obra mitjançant una plegadora, en forma de safates de la mateixa longitud que els vessants de les cobertes. Es munten mitjançant juntes alçades, fixades a les gafes ocultes, que permeten la dilatació lliure de les xapes. Com que la xapa d'acer no és un material fàcilment mal·leable a l'obra, les unions entre elles les executa una màquina d'engafar que treballa les xapes a una temperatura de 180°, per tal de facilitar-ne el doblegament i tancar la unió entre elles de forma totalment estanca.



Secció de l'ampliació de la coberta



Vista aèria de la coberta



Encontre perimetral de la coberta amb la façana existent



Estructura de suport de la coberta





Com hem pogut veure en els casos analitzats, la construcció no tan sols resol problemes del seu propi àmbit; també té la capacitat de proposar idees que condueixen a la solució formal i compositiva del projecte, a donar-li credibilitat material.

Els arguments presentats no cerquen donar una concepció determinista entre ambdós conceptes, però sí presentar la construcció com a part integrant del projecte. En l'escenari de l'arquitectura contemporània, la concepció tècnica és cada vegada més complexa, de manera que el coneixement de la construcció és necessari per suggerir i desenvolupar les idees del projecte.

En definitiva, la construcció no és tan sols un coneixement i una experiència capaços de resoldre problemes; per a l'arquitecte és un instrument bàsic del seu ofici.



**ANEXO:**  
(Traducció al castellà)





# De los elementos de construcción y el proyecto

## Introducción

En el ámbito académico, la reflexión en torno a las ideas de técnica y proyecto, materia y forma es permanente. En este texto requerimos nuevamente la atención sobre la relación de dependencia entre ellas, con la convicción de que sigue siendo actual y conveniente.

La reflexión general que subyace en el texto es que ambas forman parte inseparable del núcleo de la arquitectura, la falta de relación entre una y otra idea es ajena a los fundamentos del oficio del arquitecto. Por esta razón abordamos la relación desde el oficio, entendiéndolo como el conocimiento y habilidad práctica para resolver los problemas del proyecto. Y la exponemos mediante el análisis de casos concretos.

Tratar de forma general esta relación compleja y abierta, significa abordar cuestiones de más alcance cómo el sentido de la técnica en el proyecto arquitectónico actual o el debate ideológico entre la técnica y el proyecto, la materia y la forma, la idea y la razón. Este cuerpo teórico esencial que forma parte de los conocimientos previos al análisis de los casos particulares que presentamos no es objeto del texto.

## El método de exposición

Uno de los métodos de aprendizaje de la arquitectura y de la construcción, sobre todo en las etapas iniciales de formación, es el análisis razonado de casos modélicos, que tienen la capacidad de generar interés y desarrollar habilidades que van más allá del caso particular. Casos en los que la solución constructiva se produce de modo ejemplar mediante la síntesis de los conocimientos técnicos necesarios y la habilidad de la solución formal.

El método docente del estudio de casos, entendido de manera que no excluye una formación disciplinar previa, se utiliza con voluntad didáctica en las asignaturas de construcción y también lo empleamos en otras materias técnicas más especializadas de grado y máster. Cuando explicamos la construcción con técnicas industrializadas, innovadoras, de la construcción sostenible y las de baja intensidad técnica *low-tech*, utilizamos como método la exposición y análisis de casos atentamente elegidos.

## Los casos de estudio

Los casos que presentamos forman parte de los que se exponen en la materia de Construcción 1, de segundo curso del Grado de Arquitectura de la ETSAB, de los que se han seleccionado los que mejor glosan cada tema. Con la finalidad de que también sean útil a los alumnos de cursos avanzados, se expone un análisis más completo de cada uno y se han completado con otros casos que han sido estudiados expresamente para este texto.



Hemos elegido casos relacionados con el programa de la asignatura, que en síntesis desarrolla las técnicas y sistemas constructivos habituales en edificios principalmente de viviendas. El ámbito de las técnicas y sistemas de lo que llamamos construcción convencional no tiene límites estrictos, cada vez se parece más a una tecnología híbrida de elementos constructivos ejecutados con técnicas de construcción “húmedas” y otros a base del montaje de sistemas constructivos industrializados “secos”, de manera que los límites de los temas están en permanente evolución. La falta de definición de esos límites no tiene porqué ser un problema, al contrario, permite adaptarnos más fácilmente a los cambios de las técnicas y sistemas de construcción.

En la primera parte del texto dedicado a las técnicas constructivas, los casos de estudio analizados exponen:

- Dos casos sobre las técnicas características de la construcción húmeda, todavía dominantes en la construcción convencional: la albañilería y la hormigonería.
- Dos casos de estudio que presentan la construcción industrializada y el concepto de sistema constructivo.

En la segunda parte del texto, dedicada a los elementos de construcción se analizan:

- Tres casos de estudio que recorren la estructura de paredes, de pórticos, y el forjado; y otros dos casos sobre la fachada-estructura contemporánea.
- Los cuatro casos siguientes tratan de los tipos de fachada convencional; ventilada de obra de fábrica; con hoja exterior ligera; y con sistema de aislamiento térmico por el exterior. Dos casos más tienen que ver con el hueco de fachada: son la ventana y la protección solar.
- Finalmente, se incluyen tres casos de cubierta: la cubierta plana, inclinada y de chapa metálica.

En su conjunto ofrecen una primera colección de casos que marcan una manera de entender la docencia, que vas más allá de la abstracción propia de la disciplina, para establecer la imprescindible relación con el proyecto.

### **De la construcción y el proyecto: un proceso en evolución**

De modo análogo al hecho de que no se puede pensar sin palabras, no se puede concebir la arquitectura sin la conciencia sistemática que proporciona la construcción...

Helio Piñón\*

---

\* De la conferencia dictada al Congreso Internacional sobre la Construcción de l'Arquitectura i el seu ensenyament, que tingué lloc a Barcelona l'abril de 2002.

La relación entre las ideas de arquitectura y de construcción es un argumento característico fundamental de la arquitectura moderna. También a lo largo de la historia de la arquitectura, en cada época ha habido un elemento material o de proceso constructivo que ha sido el sujeto principal de la relación.

En la arquitectura tradicional la estructura fue el sujeto de la relación entre ambas ideas. En el siglo XIX, aunque aparecen nuevos materiales -acero y hormigón armado- que presentan características mecánicas diferentes a los tradicionales, la estructura sigue siendo el sujeto de la relación. En el siglo XX, los procesos y sistemas industrializados modifican el paradigma de la técnica para introducir elementos materiales y procesuales, que pasamos a llamar tecnología. En los últimos 40 años, ha sobrevenido un sujeto nuevo que participa en más elementos constructivos del edificio, se trata de la concepción energética del edificio. Lo que algunos autores definen como el cambio de la concepción mecánica de la técnica edificatoria a la del comportamiento termodinámico del edificio.

En definitiva la relación entre las ideas de técnica y proyecto es un tema de la teoría y práctica del proyecto en constante evolución. Aunque convivimos con nuevos y potentes desarrollos tecnológicos, con formas productivas y modelos constructivos nuevos, la estrecha relación entre ambas ideas es hoy todavía una buena estrategia productiva para la sociedad sostenible, o mejor deberíamos decir durable (como en francés) término más próximo a nuestra idea de construcción.

## **1. La técnica de la albañilería**

Museo Nacional de Arte Romano. Mérida. 1986

Arquitecto: Rafael Moneo

### **El edificio**

El Museo se edifica sobre las ruinas de edificios construidos durante la etapa del Imperio Romano en Mérida, que iban a quedar al descubierto para mostrar el que fue el momento relevante del pasado de la ciudad.

La decisión técnica determinante del proyecto del museo es sin duda adoptar el sistema constructivo de muros paralelos de albañilería. La utilización del ladrillo cerámico es una forma material de evocar el pasado del contenido arqueológico que se expone en el edificio. Los procedimientos y la técnica constructiva empleados en la ejecución tienen en cuenta la tradición romana.

El proyecto del edificio no se plantea como una construcción mimética del pasado, porque se resuelve desde la concepción moderna de la arquitectura y de la técnica. Como es el caso de la solución constructiva de la cubierta de losas planas, alternadas con amplios lucernarios, alejadas de las soluciones clásicas de bóveda o cúpula.



## La albañilería

Es la técnica de construcción con materiales pétreos de pequeño tamaño. Los materiales pueden ser naturales como las piedras, o artificiales como los bloques de morteros de cal u hormigón. La opción todavía hoy más utilizada es la del ladrillo cerámico a cara vista o revestido. La masividad y tectonicidad del elemento construido, muro o bóveda, es más evidente cuando el ladrillo está a la vista y no queda revestido por un enlucido o aplacado. La calidad del aspecto y la durabilidad de la construcción de la obra de fábrica dependen de los materiales y de la habilidad del albañil, como ocurre en las técnicas artesanas.

Para que la obra de fábrica funcione como un elemento constructivo unitario, ha de ser cohesiva y estar bien trabada. Para ser cohesiva, es decir mantener el máximo contacto entre las piezas y el mortero, el albañil ha de ser hábil para colocar con fuerza el ladrillo sobre el mortero y dejarlo en la correcta posición a fin de mantener la verticalidad y horizontalidad de las juntas. Para conseguir la trabazón de la obra, el albañil debe ordenar la posición de los ladrillos de manera que el elemento construido este lo más ligado posible disponiendo suficientes piezas a tizón, perpendiculares al plano del muro.

## Los muros del Museo

Los muros están contruidos a modo de emplectum romano, formado por paredes exteriores de ladrillo a cara vista y un relleno interior de hormigón armado hasta la primera planta y más arriba en masa, sin armar. La estructura se construye con ladrillo y hormigón, empleando dos técnicas constructivas diferentes (albañilería y hormigonería), de manera que la sección resultante es mixta y permite mantener la estabilidad de unos muros tan esbeltos. No obstante no es fácil prever el comportamiento estructural del conjunto formado por materiales de rigidez diferente. Mientras el ladrillo determina la forma estructural y su imagen, el hormigón (más rígido que la obra de fábrica de ladrillo) asumirá la mayor parte de las acciones verticales.

Las juntas del muro no son las habituales de la albañilería; las horizontales son más delgadas y las verticales no están rellenas de mortero de forma que quedan a hueso y apenas se ven. La diferencia de espesores de las juntas facilita que la junta horizontal domine la percepción próxima de la superficie del muro, frente a su esbelta forma general.

El ladrillo cerámico macizo es el material dominante en el exterior e interior del edificio. Su fabricación es mediante cocción artesana, en lotes a diferentes temperaturas que facilita la variedad de tonos. Los ladrillos se aparejan alternando su aspecto.

Una gran puerta da paso al eje principal de la nave, dejando las salas de exposición a cada lado. La perspectiva de la nave es monumental, está formada por una secuencia de nueve arcos abiertos en muros separados 6 m. entre sí. Los muros y los arcos centrales están contruidos mediante la técnica tradicional de la albañilería. Los arcos de medio punto tienen 9 m. de diámetro y casi toda la altura del edificio. Su forma repite a tamaño real el gran Arco de Trajano que se encuentra en la entrada al foro de la ciudad. Para formar los arcos, los ladrillos se aparejan sobre una robusta cimbra de madera. Cada arco está formado por tres roscas de ladrillo colocados a sardinel en yuxtaposición a las juntas horizontales del aparejo del muro.

En los muros de las salas laterales se abren pasos que tienen una forma diferente y son de menor tamaño que los de la nave central. Están formados con arcos casi planos, sobre los que se aparejan arcos de descarga de medio punto, que son los que están sometidos a más carga. La superposición de ambos incrementa la imagen tectónica de la obra de fábrica.

### **Emplectum**

El emplectum tiene origen griego, pero fue perfeccionado por los romanos mediante el relleno del espacio vacío entre las dos hojas exteriores de ladrillo, con opus caementicium, llamado también hormigón romano.

El material aglomerante era la puzolana, una ceniza volcánica que tenía la propiedad de endurecerse en contacto con el agua y alcanzar una buena resistencia, en un proceso semejante al fraguado de los hormigones de cemento Portland.

El resultado de la unión de ambos materiales hizo posible la construcción de bóvedas y muros que podían soportar grandes cargas, para edificar los edificios monumentales y las obras públicas del Imperio.

## **2. Hormigonería**

Crematorio en el parque de Kakamigahara. Gifu, 2005  
Arquitecto: Toyo Ito. Ingeniero: Mutsuro Sasaki

### **El edificio**

Los edificios destinados a usos funerarios tienen una relación singular con el paisaje que les rodea. La relación entre el crematorio y el lugar se resuelve con una gran cubierta ondulada, que parece flotar y se integra delicadamente en el paisaje. Toyo Ito describe la cubierta como un gran toldo que se mueve con el viento. La cubierta, que parece haber detenido el movimiento en el tiempo, presenta una forma propia de las construcciones textiles. El uso del cristal en las fachadas y el reflejo del edificio en el agua destacan la imagen ligera de la cubierta.

El edificio tiene una sola planta y la cubierta está soportada por cuatro núcleos estructurales y doce pilares en forma de cono invertido que recogen el agua de lluvia. Los espacios para las ceremonias se sitúan entre los núcleos y los pilares. La luz proyectada hacia el techo ilumina de forma indirecta los espacios en todas las direcciones.

### **La forma de la cubierta**

La sección ondulada de los 2.270 m<sup>2</sup> de superficie de cubierta es el resultado de un proceso de diseño iterativo de la estructura, mediante el desarrollo de un análisis paramétrico de optimización tensional, ideado por el propio Sasaki. El proceso de análisis dinámico, en evolución, permitió mejorar la eficiencia estructural de la losa.



También se tuvo en cuenta la adaptación de la forma de la cubierta a las alturas necesarias para el uso de los diferentes espacios interiores, su relación con el paisaje del parque y la facilidad de desagüe.

### **El material y la técnica de puesta en obra**

La moderna tecnología de fabricación del hormigón permite que, mediante la adición de otras sustancias, el material se adapte a formas y procesos de ejecución poco convencionales. En este caso, fue necesario definir la fórmula del hormigón para ser vertido sobre las superficies inclinadas sin que se produjeran movimientos de las masas de hormigón, que harían imposible mantener los espesores de la losa definidos en cada punto. Así, se utilizó un hormigón de mayor consistencia de la habitual, con aditivos que aceleraban el fraguado. Para reducir la porosidad y aumentar la impermeabilidad de la losa, también se añadieron otros aditivos a la masa.

El encuentro de los pilares con la losa se realizó mediante un gran capitel. La sección del pilar es variable y en su centro se sitúa un desagüe que recoge las aguas pluviales y las vierte al estanque. La cara superior de la losa no tenía la forma exacta definida en el proyecto y hubo que mejorar las imperfecciones de la superficie con un mortero de regularización. La cubierta aparenta ser de hormigón visto de color blanco, pero no es así. Por encima de la losa, se aplicó una pintura impermeable para asegurar la estanqueidad de la cubierta y, en su cara inferior, se aplicó un delgado revestimiento de mortero aislante acabado con pintura. Ambos determinan el color de las superficies.

### **El encofrado**

Las estructuras habituales de hormigón in situ se resuelven con formas ortogonales y planas para que los encofrados sean simples y de fácil ejecución, y se puedan reutilizar. La tecnología de los encofrados hoy permite definir cualquier geometría. Sin embargo, cuando se aprovecha el hormigón como material conformable para tomar ondulaciones de esta cubierta, es más complicado realizar la forma del encofrado y normalmente tiene un único uso. Por tanto, si no se racionaliza el proceso de construcción de la superficie del encofrado y su estructura de soporte, el coste final de este medio auxiliar llega a ser desproporcionado frente al poco coste del hormigón.

El encofrado es una estructura isostática de dos plantas de altura, con un entablado intermedio para facilitar el montaje de las sopandas y las correas. Los métodos digitales de representación gráfica del proyecto facilitaron el trabajo de despique y montaje del encofrado con precisión en el taller. Las secciones de la cubierta fueron definidas a cada metro, para cortar a medida las diferentes sopandas del encofrado, formadas con tableros contrachapados de madera, curvados y cortados en el taller. Sobre las sopandas, se disponía otro nivel de perfiles de madera de 25 cm de altura, de listones encolados entre sí. Sobre esta estructura, se apoyaba la superficie ondulada del encofrado, que estaba formada con un entablado de tablas planas de madera, de 15 cm de ancho. Los encofrados de los capiteles están formados por diversos segmentos y son, en sí mismos, una obra de carpintería de alta calidad. En conjunto, el encofrado es una construcción efímera tan interesante como la definitiva, que nos hace pensar si la cubierta no podría haber sido de madera.

Para evitar el desplazamiento y lograr la estabilidad del conjunto, se disponen perfiles inclinados de arriostramiento. Antes de colocar la armadura de la losa sobre el encofrado, se fijaron los separadores de la armadura inferior y superior, y una galga que definía el espesor que debería tener el hormigón en cada punto de la losa. Finalmente, el hormigón se vertió en obra de forma continua, impulsado por una bomba, de modo que el proceso fue rápido y se redujeron las juntas de hormigonado.

### **3. La construcción industrializada**

Edificio de viviendas y de usos comerciales. Rathenow, 1997

Arquitectos: Klaus Sill y Jochen Keim

#### **Edificio**

Es la ampliación de un edificio existente, de más de cien años de antigüedad, ubicado en un barrio de bloques mixtos de viviendas y oficinas de negocios. Con el tiempo, el patio de la parcela se fue ocupando con cobertizos y garajes precarios que estaban en mal estado. No tenía ningún sentido rehabilitarlos porque no eran viviendas ni oficinas y fueron derribados. El espacio vacío de la parcela fue ocupado por la nueva ampliación y el resto se convirtió en jardín para los residentes.

El interior del edificio existente fue vaciado y únicamente se preservó la estructura de muros de carga y forjados de las tres primeras plantas. A continuación, se hizo una rehabilitación con técnicas de construcción convencionales, mientras que, para la ampliación del edificio, se utilizaron técnicas y sistemas de construcción industrializada.

#### **La construcción industrializada**

Denominamos construcción industrializada la que está formada por elementos constructivos producidos mediante la aplicación de métodos sistemáticos de diseño, planeamiento de la ejecución y control de la obra propios de la industria. En consecuencia, se sustituyen los procesos tradicionales de puesta en obra manual por otros mecanizados y automatizados, en que todos los subsistemas y componentes se integran según un proceso global de montaje. Mediante estos procesos, se pretende mejorar la competitividad, es decir, reducir el coste y el tiempo de construcción, y mejorar la calidad final. También se incorporan otras demandas, cada vez más importantes, que pretenden reducir el impacto ambiental de los procesos de fabricación y construcción, y que la producción industrial se adapte a las exigencias de los usuarios.

Una de las alternativas actuales es la prefabricación de grandes componentes para estructuras, cubiertas, fachadas y particiones de diversos materiales. También se utilizan módulos completos habitables, comúnmente denominados "módulos 3D". El edificio que estudiamos es un buen ejemplo de ello. Está compuesto de pórticos de pilares y jácenas de hormigón prefabricado, sobre los cuales se disponen módulos de gran volumen, fabricados con diversos materiales: metales, hormigón y vidrio.



## Estructura

La estructura portante de la ampliación consiste en pórticos de hormigón prefabricado, diseñados para soportar 8 módulos prefabricados simples y 2 módulos dobles, destinados a estancias.

Los pórticos están formados por tres crujeas paralelas al plano de la fachada y una sola crujía perpendicular. Los pilares son de tipo "bandera", es decir, empotrados en la zapata de cimentación y de una sola pieza desde el suelo hasta la cubierta. Las jácenas de hormigón armado están apoyadas en las cartelas que sobresalen de los pilares a la altura de cada planta. La estabilidad del conjunto se resuelve con la unión empotrada de los pilares a las zapatas y de las jácenas perpendiculares a la fachada del edificio existente.

Los módulos de oficinas tienen forma de ortoedro y están apoyados en las jácenas de los pórticos. La base del módulo está formada por una losa de hormigón armado. Las aristas restantes están formadas con perfiles tubulares huecos de acero conformado en frío. El módulo es suficientemente rígido y resistente a los esfuerzos de flexión a que están sometido, de forma que tan solo se apoya en las jácenas paralelas a la fachada existente.

## La fabricación y el montaje

El edificio nuevo es un ejemplo de sistema de construcción modular realizado con componentes prefabricados, con el objetivo de reducir el coste y obtener una calidad superior a las de las técnicas convencionales, intensivas en mano de obra.

Los módulos se construyen en fábrica con materiales industriales comunes: chapas onduladas de aluminio anodizado en el cerramiento exterior, chapa de acero galvanizado interior y, entre ambos, un aislamiento de fibra mineral. La base del módulo se realiza mediante una losa de hormigón vertido durante el proceso de fabricación para cumplir con los requisitos de seguridad frente al fuego, proteger del ruido y rigidizar la base del ortoedro.

Las medidas de los módulos simples son  $2,50 \times 3,50 \times 2,90$  m. Contienen todas las instalaciones y los servicios necesarios para su uso e incorporan calefacción por suelo radiante. Algunos son cuartos de aseo y otros se utilizan para salas de reuniones. El zócalo de los módulos es una guía continua por la cual se tiende el cableado eléctrico y se fijan los enchufes.

Los módulos fueron montados en una fábrica a 500 km de Rathenow. El ancho del módulo vino determinado por la medida estándar de ancho de transporte económico en camiones que no necesitan ser escoltados. Una vez concluidos los derribos preliminares, se montaron los pilares "bandera" en las zapatas de cimentación. A continuación, se instalaron las jácenas paralelas y perpendiculares, apoyadas sobre las cartelas de los pilares. Cuando el armazón de soporte estaba terminado y asegurada la rigidez del conjunto, los módulos fueron izados mediante unas potentes grúas hasta depositarlos en las crujeas definidas por los pórticos. El último paso fue conectar las instalaciones de energía, agua y residuos al edificio principal.

## 4. La idea de sistema constructivo

Casa Marie Short. Kempsey (Australia). 1975 y 1981

Arquitecto: Glenn Murcutt

### La casa

Una de las primeras obras de Murcutt fue la casa construida para la madre de Laurie Murcutt. Al cabo de unos años los Murcutt ambos arquitectos compraron la casa y la ampliaron. Está emplazada en plena naturaleza, entre prados, cercana a una laguna y un río, en una zona lluviosa de flora tropical.

El volumen de la casa está compuesto por dos pabellones de iguales dimensiones unidos por un amplio canalón de aguas pluviales, que cubre el pasillo que da acceso a ambos. El desplazamiento de una crujía de los dos pabellones entre sí, la orientación de la casa, la situación de las verandas y las características de las envolventes exteriores han sido proyectados para acomodar la casa a las condiciones climáticas del lugar, a las diferentes situaciones que se dan de noche y de día, y en el cambio de estaciones.

La casa muestra conceptos característicos de la arquitectura del autor, como la utilización de formas vernáculas y de recursos materiales del lugar, la adaptación a las condiciones del entorno y el cuidado diseño constructivo.

### El concepto de sistema constructivo

La tecnología de la arquitectura contemporánea se basa en la utilización de productos de naturaleza y forma diferentes, y el empleo de técnicas de fabricación y puesta en obra de procedencia diversa. Un conjunto de características técnicas tan variadas solamente puede trabajar de forma eficaz si constituyen un sistema constructivo; que definimos como un conjunto de componentes que están coordinados entre sí por relaciones de interdependencia, con el objetivo de resolver el diseño y construcción de un edificio completo o alguna de sus partes. En todo este proceso es fundamental la racionalización técnica del proyecto y de las técnicas de puesta en obra.

En la práctica habitual los edificios son el resultado de la adición de sistemas constructivos particulares, que en origen no comparten criterios comunes de conexión, juntas y dimensiones. El edificio se construye con sistemas híbridos formados por componentes y subsistemas, que actúan conjuntamente, resolviendo la estructura y las envolventes del edificio principalmente. El arquitecto hoy es quién define el sistema general para el proyecto, es decir la geometría, la conexión entre los diversos componentes, que puede ser utilizados en otros casos semejantes. En consecuencia es necesario la racionalización de las condiciones materiales del sistema, que conlleva la modularidad dimensional, la estandarización de la geometría de los componentes y de las soluciones constructivas.

Aunque la casa de M.S. es un edificio sencillo y pequeño es un buen ejemplo de los conceptos expuestos. La idea de sistema constructivo aplicada a la formación de la casa también se ha demostrado un recurso útil para su ampliación.



## Las características constructivas

La tecnología constructiva de esta zona agraria son las vallas de granja, postes y traviesas de madera. La casa fue construida con secciones de madera que la propietaria había comprado a buen precio, como restos de producción de una serrería próxima. Así el proyecto se adapta a las medidas de las tablas disponibles y además incorpora otros materiales habituales en las granjas, cómo la chapa metálica de cubierta. La casa está levantada sobre el terreno para mejorar el paso del aire y la ventilación, evitar el peligro de la inundaciones del terreno por la lluvia y dar seguridad frente los animales.

La geometría del sistema constructivo es simple, se basa en la repetición de un mismo pórtico perpendicular al eje longitudinal del pabellón. Los dos pabellones iguales, están construidos a partir de la adición de componentes de la misma geometría, relacionados entre ellos mediante las condiciones del sistema que ha diseñado el autor del proyecto.

La estructura de ambos pabellones está formada por un pórtico de madera dura de 5.23 m. de luz, que se repite cada 3,05 m. El pórtico está compuesto por dos pilares y una cercha triangular. El espacio entre los pilares se descompone en cuatro módulos que ocupan los cerramientos de fachada, formados por lamas orientables interiores y las carpinterías de las ventanas y persianas venecianas exteriores. La fachada de tres hojas ligeras se adapta a las orientaciones y condiciones ambientales distintas por medio de la regulación manual de su disposición. El espacio interior se beneficia de la apertura de las vistas al paisaje.

Los componentes se ensamblaron con uniones atornilladas, fáciles de montar y desmontar. La estructura modular y el uso de elementos seriados de fachada permitieron la fácil ampliación de la vivienda, reutilizando todos los componentes que ya existían e incorporando nuevos con las mismas características de los anteriores. En 1981 se ampliaron los pabellones desmontando los testeros, añadiendo una nueva sala de estar y un dormitorio, y volviendo a rematar los pabellones con los testeros originales.

Posteriormente el arquitecto ha realizado otros proyectos de viviendas de características semejantes utilizando los conceptos generales de sistema que definió en este caso, demostrando la facilidad de adaptación a otros proyectos.

## 5. Estructura de paredes

Travertine House. Nueva York, 1962  
Arquitecto: Gordon Bunshaft

### La casa

Bunshaft era el arquitecto principal de la firma SOM, dedicada a proyectar importantes edificios institucionales en los Estados Unidos de América. Sin embargo, durante su interesante carrera profesional, tan solo proyectó esta vivienda, que utilizaba durante los fines de semana y donde guardaba y exhibía las piezas de arte contemporáneo que coleccio-

naba. En 2005, la vivienda fue vendida y, lamentablemente, el propietario la derribó para construir una nueva.

La casa se situaba en un emplazamiento llano con vistas a un lago. El volumen de la casa era simple, formado por un solo prisma de base rectangular, de una planta de altura. El programa de la vivienda era básico: constaba de dos dormitorios, cocina, estar-comedor, servicios y espacios auxiliares.

### **De la estructura y el espacio**

La estructura de la casa es lo más elemental que podríamos pensar. Tiene una geometría escueta, formada por dos paredes de carga paralelas entre sí, que sostienen la losa de cubierta sin otro elemento estructural intermedio. Carece de paredes perpendiculares a las longitudinales en los testeros. Con tan escasos elementos, la casa queda totalmente definida cuando se acaba la estructura, como ocurre en la arquitectura clásica.

Las paredes están construidas con bloque hueco de mortero de cemento de 25,4 cm de espesor y están rematadas por una viga rectangular de hormigón armado de 36 x 60 cm sobre la cual se apoya la losa de la cubierta. La luz entre las paredes es de 7,30 m. Puesto que la luz de la losa excede las habituales de los forjados unidireccionales de hormigón armado, Bunshaft utilizó placas de hormigón pretensado para cubrir el espacio interior sin ningún apoyo intermedio. La sección de la placa tiene forma de letra pi o de "TT" y es de 42,5 cm de canto. Entre los nervios de las placas, queda un espacio vacío, a modo de triforio, por el cual entraba una luz difusa, que hacía más ligera la percepción del techo.

Las paredes marcan la dirección dominante del espacio entre ellas. La ausencia de paredes testeras subraya la direccionalidad, porque la luz y las vistas están en ambos extremos. La larga longitud de las paredes dificulta que la luz y las vistas lleguen al tercio central de la planta. Este problema se resuelve abriendo una abertura central de mayor dimensión que los testeros. De este modo, se introduce otra dirección en el espacio, la perpendicular a la principal, que permite disfrutar de luz y vistas sobre el lago y da acceso a la terraza exterior.

Una jácena de canto a modo de dintel, de 9,90 m de luz, cubre la abertura de la fachada. La jácena no recorre todo el perímetro del rectángulo porque se interrumpe en los testeros. Sobre ella se apoyan los nervios de las placas prefabricadas. Su dimensión viene determinada por el canto necesario para resolver el gran hueco de la fachada, que se mantiene constante incluso cuando está totalmente apoyada sobre la pared. La razón por la cual se mantiene el canto no responde a la eficiencia estructural, sino a la voluntad de mantener la claridad y la simplicidad compositiva del paramento.

### **La estabilidad de la estructura**

Las estructuras de paredes, para ser estables, necesitan otras paredes perpendiculares que hagan la función de arriostramiento. Solo cuando el edificio es bajo o está en zonas sísmicas de baja intensidad, se puede prescindir de ellas. Pero casi nunca se prescinde de los testeros, pues mejoran la estabilidad general. En esta casa, las paredes no están vinculadas entre



ellas; incluso el apoyo de las losas del forjado de cubierta es un apoyo simple, isostático, de modo que no interviene en la estabilidad del conjunto.

La estabilidad de la pared se confía exclusivamente a su espesor y a la unión con la zapata corrida de cimentación. La pared de bloque de mortero tiene un espesor de 25,4 cm, y la altura entre forjados es de 3 m, así que su esbeltez es de casi 12m. Las paredes son suficientemente estables sin necesidad de otras paredes de arriostramiento.

### **La pared de fachada**

Grandes ventanas cierran los testeros y la abertura central de las paredes. Las ventanas situadas en los testeros se disponen en un plano retrasado del final de las paredes. La diferencia de planos entre las ventanas y el final de las paredes tiene varias funciones. Permite destacar más la presencia de las paredes, define una sombra lateral sobre el hueco de las ventanas y asegura mejor la estanqueidad de la unión entre ventana, pared y forjado. Este espacio a modo de nicho protege de la acción del agua y del viento las aristas de unión entre los tres elementos constructivos.

El bloque de mortero de cemento que se utilizó en la ejecución de la pared estaba fabricado en una máquina ponedora. Como era habitual entonces, la máquina dejaba la pieza mal acabada y con una alta absorción del agua, por lo cual fue necesario revestirla con mármol travertino, que también se utilizó en el suelo y dio nombre a la casa.

Esta sección de pared, sin ningún material de aislamiento en su interior, tiene una resistencia térmica baja, que hoy resultaría inaceptable. La sección del muro hoy debería ser de dos hojas, con el material de aislamiento interpuesto. La mejora de las prestaciones del muro sería realmente efectiva, pero queda lejos de la simplicidad técnica original.

La simpática foto de Nina y Gordon Bunshaft sentados sobre los bloques de mortero durante el proceso de construcción nos permite apreciar las características materiales de los bloques utilizados.

## **6. La estructura de pórticos**

Casa Hopkins. Londres. 1976  
Arquitectos: Michael and Patty Hopkins

### **La casa**

Es una vivienda situada en una zona residencial cerca de Londres, que durante un tiempo también fue la oficina profesional de los Hopkins. Ambos habían trabajado en la oficina de Norman Foster, donde desarrollaron proyectos con modernas técnicas y sistemas de construcción, paradigmas de la arquitectura High Tech de los años setenta.

En su casa aplicaron los conocimientos y experiencia que habían adquirido en los proyectos de edificios singulares. A pequeña escala utilizaron materiales y técnicas que conocían, manejando componentes de catálogo de manera sencilla y eficiente. La casa es el resultado de un planteamiento elemental, en la que la idea de “light” -en su doble significado de luz y ligero- es la guía del proyecto.

## **La estructura**

La casa tiene dos plantas rectangulares de 10 por 12m., compuestas mediante rectángulos de 2 por 4m., con un pilar en cada uno de los vértices. En una dirección de la planta hay 6 pilares y cinco vanos entre ellos y, en la dirección perpendicular, cuatro pilares y tres vanos.

Los pilares son tubos cuadrados de acero laminado soldado, de sección constante desde la cimentación a la cubierta. Los situados en el centro de la planta soportan las cargas y sobrecargas de un tramo de forjado de 8m<sup>2</sup>, que producen sobre ellos esfuerzos de compresión de poca magnitud; de manera que la sección del pilar resulta menor que en las estructuras convencionales. Para transmitir los esfuerzos, en las cabezas de los pilares, se disponen pequeñas cartelas de apoyo soldadas a las vigas y pilares. En el perímetro de las fachadas los pilares están separados 2m. entre sí. La distancia entre ellos es más pequeña que en el interior de la casa porque sirven también para la fijación de las carpinterías de las fachadas principales.

Las luces entre pilares son pequeñas y el forjado es ligero, de forma que los cordones superior e inferior de las vigas en celosía son suficientes para soportar el momento flector. Los reducidos esfuerzos cortantes en los apoyos no hacen necesario reforzar el alma de la viga en sus extremos. La transparencia de la celosía es una solución coherente con la continuidad de espacio interior que se pretende.

La estructura de acero es ligera, con nudos articulados entre vigas y pilares, de forma que no es estable frente a las acciones horizontales, si no se disponen soluciones constructivas que la arriostren en ambas direcciones. En las dos fachadas acristaladas la solución es evidente, a través de las carpinterías podemos ver dos cruces de San Andrés que rigidizan ambos planos. En la dirección perpendicular la solución no es tan evidente, los paneles de chapa de acero de las fachadas laterales también hacen la función de diafragmas que rigidizan la estructura de ambos planos opacos. La segunda solución tan sólo es eficiente en edificios de baja altura como éste.

Tanto las vigas principales que soportan el forjado unidireccional como las perpendiculares son vigas en celosía de tipo Warren de 60 cm. de canto. El canto de las vigas principales y de las perpendiculares no tiene porqué ser el mismo. El de las perpendiculares debería ser menor ya que no están sometidas a los esfuerzos de flexión de las principales. En este caso se mantiene la uniformidad del canto de todo el entramado de vigas para mantener la misma altura de las particiones interiores.

El forjado está formado por una chapa plegada de acero apoyada sobre las vigas de celosía. La dirección de las chapas es paralela a las fachadas laterales de manera que tienen apoyos cada 2 m. y no es necesario una subestructura de correas auxiliar. Aunque el espacio interior parece isótropo la geometría del forjado es claramente unidireccional.



Sobre la chapa de acero se sobrepone un tablero de madera acabado con un pavimento de moqueta. Esta sección tiene problemas de falta de aislamiento acústico al ruido aéreo y de impacto. Seguramente hoy la chapa del forjado sería complementada por una delgada losa de hormigón vertido "in situ" que también colaboraría en la indeformabilidad del plano del forjado; aunque se perdería la ligereza y las ventajas del proceso de montaje en seco.

Para facilitar la continuidad del espacio interior, los tabiques se disponen en los ejes de las vigas de celosía, de modo que la arista superior del tabique se une al cordón inferior de la viga. Es una solución geométrica clara, sin embargo presenta un problema de aislamiento acústico entre habitaciones, porque no cierra el espacio ocupado por el alma de la viga en celosía.

### **Componentes constructivos de catálogo**

Para los Hopkins era importante que la construcción de la vivienda se realizara con productos y técnicas de la construcción industrializada, cuanto más seriada y universal mejor. Así, los componentes la construcción que hemos visto son de catálogo, a diferencia de las obras más conocidas de la High Tech del Reino Unido, que bajo la apariencia de componentes industrializados de serie, son ejemplos únicos de una artesanía mecanizada.

Un caso particular de elemento de catálogo utilizado son las vigas en celosía formadas con perfiles de acero laminado. Los cordones superiores e inferiores están formados por dos L soldados a pletinas de acero en forma de W. En el Reino Unido es fácil encontrar empresas que tienen la tecnología para montar este tipo de vigas a medida, a partir de un catálogo variado de secciones, con sus prestaciones mecánicas perfectamente caracterizadas y con sencillas tablas de dimensionado. La fabricación puede ser incluso automatizada. Seguramente estas vigas celosía provienen de la tradición de la construcción de los puentes de ferrocarriles ingleses, a finales del siglo XIX, con grandes vigas en celosía, que más tarde se han extendido a la edificación.

## **7. El techo**

Galería de arte y centro de diseño. Universidad de Yale. 1953

Arquitecto: Louis Kahn

### **El edificio**

La Galería de Arte es una ampliación de la antigua galería, destinada a salas de exposiciones de arte y una sección de arquitectura. Contiene amplios espacios vacíos para la exhibición de obras y uso de los estudiantes.

La Galería era el primer proyecto importante de Khan, que hasta entonces había construido casas unifamiliares de menor complejidad técnica, en el que resuelve con habilidad el problema de la relación entre los servicios y la estructura en las salas de exposición. Kahn aplica su concepto de relación entre espacios servidores y servidos, en donde los servicios de la cúpula central y las comunicaciones verticales sirven a las dos salas de exposición. Ambas

salas son diáfanas, libres de muros y pilares para facilitar el uso flexible y cambiante de las exposiciones y otras actividades. Cuando la exposición requiere dividir el espacio se montan particiones móviles. En el centro del edificio hay un patio, a toda su altura, que contiene una escalera dentro de un gran cilindro de hormigón iluminado cenitalmente.

### **La estructura**

La estructura además de soporte del edificio es determinante de la forma característica del proyecto. La Galería está formada por tres crujeas rectangulares y una crujía más de paso entre el edificio nuevo y el antiguo. Las dos crujeas iguales están separadas por el patio interior de accesos y comunicación entre las plantas.

La geometría modular de las crujeas de las salas de exposición, está formada por la adición de cuatro rectángulos con pilares en sus vértices. Los módulos rectangulares miden 12,5 x 6,25 m. entre ejes y el rectángulo mayor que los contiene mide 25 x 12,5 m. Las crujeas están limitadas por una viga perimetral de hormigón armado.

### **El forjado**

La solución constructiva del forjado está formada con nervios unidos con tetraedros de hormigón armado "in situ" sobre los que se forja la losa superior. La solución del complejo entramado de nervios y vacíos es ingeniosa, porque facilita el paso de las instalaciones a través del forjado que permanece visto.

El forjado está apoyado en los pórticos de hormigón armado, sin soportes intermedios, de forma que parece flotar sobre la sala de exposición. La luz del forjado entre los ejes de los pórticos es de 12,5 m., si fuera macizo se producirían momentos flectores y deformaciones considerables. Para disminuir el peso propio se aligera con tetraedros huecos. En el trasdós del forjado se pueden ver los nervios de hormigón en tres direcciones. Una perpendicular a los pórticos y a las otras dos en diagonal. Los nervios en realidad no son iguales, los principales tienen una sección rectangular constante y son perpendiculares a los pórticos; los nervios en las otras dos direcciones tienen una sección variable formada por una sucesión de triángulos unidos a los nervios principales.

Las plantas de las galerías son rectángulos de proporción 1:4, que no es óptima para un reparto equilibrado de esfuerzos en dos direcciones, porque los nervios de menor longitud están sometidos a mayores tensiones que los más largos. Por lo tanto, los nervios perpendiculares a los pórticos son los que soportan la flexión en una sola dirección. No obstante, la geometría del trasdós del forjado queda definida por las aristas de los tetraedros y de los nervios principales, como si fueran nervios iguales en tres direcciones.

La función de los tetraedros es reforzar lateralmente los nervios principales frente a esfuerzos horizontales. Las aristas de las caras macizas del tetraedro se unen al nervio principal y el vértice inferior a un punto del nervio siguiente. La solución constructiva inicial del forjado fue modificada para resolver el problema del esfuerzo cortante que se concentra en ese encuentro de tan poca sección. El conjunto de nervios y tetraedros unidos a la losa superior del forjado dan monolitismo al conjunto.



La compleja geometría del forjado se construyó con encofrados metálicos en forma de tetraedro sobre los que se vertió el hormigón. A través de los huecos que quedan entre los tetraedros circulan las instalaciones de iluminación artificial y de ventilación. Debajo de la losa se disponen placas de aislamiento acústico para evitar la reverberación del sonido en el trasdós.

### **El techo técnico**

La aportación técnica más relevante del proyecto es el concepto de techo, que va más allá de la idea de soporte estructural. El techo es un conjunto integrado que resuelve las exigencias mecánicas y de servicios, para tener una mayor altura libre de las salas.

Los forjados son accesibles para facilitar el mantenimiento y la modificación de la iluminación de las exposiciones. La geometría de los tetraedros permite disponer de suficiente espacio para el paso de los tubos de ventilación y las instalaciones de iluminación que llegan desde el núcleo central. Este concepto estructural ha tenido un amplio desarrollo técnico posterior, sobre todo en los forjados de vigas de acero en celosía.

Para que el recorrido de las instalaciones sea lo menos visible, la iluminación del techo proyectada hacia el suelo, deja en un vacío oscuro en el interior de los tetraedros, de manera que tan sólo se percibe con claridad la geometría plana de los nervios en tres direcciones.

## **8. La fachada-estructura (1)**

Edificio Media Pro. Barcelona. 2008

Arquitectos: Carlos Ferrater, Patrick Genard y Xavier Martí

### **El edificio**

Situado en el nuevo distrito 22@Barcelona, es un edificio destinado a actividades de empresas del sector audiovisual y de espacios para la producción de contenidos. Es un entorno urbano en el que ya existen oficinas y se construirán además un centro universitario y otros centros públicos y privados de producción audiovisual.

El edificio destinado a oficinas para las empresas audiovisuales es una torre de 19 plantas de altura sobre otro edificio más bajo de 5 plantas. La torre hoy es la edificación más notable del conjunto. Las plantas tienen una geometría variable que va girando a medida que asciende el edificio, de manera que los planos de fachada van cambiando progresivamente. La torre y el edificio bajo mantienen en común los núcleos de servicios y comunicaciones, y la composición de la fachada.

### **Estructura metálica de la fachada**

La estructura general del edificio está formada por la fachada y los núcleos de hormigón armado destinados a servicios y comunicaciones verticales, a la manera del "tube in tube" de

los rascacielos. La estructura de pilares y travesaños horizontales de acero a modo de jaula definen la forma característica de la fachada. El espacio interior del edificio carece de pilares intermedios y permite una planta adaptable a usos diferentes.

La planta del edificio tiene una forma semejante a un rectángulo, que cambia de perímetro hasta cinco veces. Los núcleos centrales son de hormigón armado, tienen espesor variable según la altura y están separados de la fachada 16 m., de modo que los forjados deben cubrir una luz considerable. Para reducir su peso propio se aligera con bovedillas de poliestireno expandido entre los nervios. Para disminuir las deformaciones, el forjado se refuerza mediante un postesado de cables de acero, insertados en unas vainas rellenas con mortero de alta resistencia. El postesado une los núcleos y la fachada cuando la luz es mayor y en el voladizo de la sexta planta, de forma que el forjado también trabaja como una pantalla rígida plana que une a ambos.

El perímetro del edificio consta de 72 pilares separados 1,90 y 2,05 m., que varía en función del plano de fachada. Los pilares rectangulares de 60 x 30 cm. están formados por secciones cerradas de planchas de acero soldadas rellenas de hormigón armado. El espesor de las planchas de acero aumenta con la carga que soportan. En la sección mixta de hormigón y acero, el primero soporta las cargas permanentes y el efecto del fuego en caso de incendio; y las planchas de acero el resto de cargas. Los pilares se unen rígidamente a los forjados mediante los travesaños horizontales de acero. Estas numerosas uniones rígidas permiten que la estructura general funcione como un todo en tres dimensiones, para resistir de forma más eficiente las acciones horizontales.

El hueco tipo de la fachada formado por la ventana queda enmarcado entre el entramado estructural de los pilares y los travesaños de los forjados. Para facilitar la puesta en obra y seguridad, los pilares se fabricaron en taller en tramos de tres plantas de altura en las más bajas y de dos plantas en las superiores. El armado y el vertido del hormigón se realizaron "in situ". El hormigón fue bombeado hasta alcanzar la altura de cada planta y vertido en el interior de los pilares de acero a través de unas ventanillas previstas a la altura de los forjados.

### **El "tube in tube"**

El planteamiento de la estructura porticada ha sido ampliamente aceptado en la arquitectura del siglo XX. En las fachadas de muro cortina, la fachada es ligera y transparente, de modo que pierde su tradicional función estructural. En la arquitectura convencional no ocurre lo mismo porque todavía no se han explotado las posibilidades que abre la mayor ligereza.

El problema del edificio de gran altura es la acción dinámica del viento, más compleja de resolver que las acciones gravitatorias estáticas. La estructura requiere rigidez para soportar las acciones del viento y flexibilidad y ligereza para las de sismo.

La geometría de pórticos planos de acero no es eficiente cuando el edificio tiene gran altura. Los nudos rígidos de unión entre perfiles tienen que ser de gran tamaño para soportar las acciones horizontales. En estos edificios, la masa de acero necesaria para soportar las cargas horizontales llega a superar la masa necesaria para soportar las cargas gravitatorias.



A principio de 1960 el arquitecto Myron Goldsmith y el ingeniero Fazlur Khan de la oficina de arquitectura norteamericana SOM, desarrollaron un nuevo concepto estructural para los edificios en altura. La nueva solución estructural permitía que las acciones horizontales que actuaban en el edificio (viento y sismo) no penalizaran la cantidad de masa de estructura necesaria. Después de trabajos analíticos y experimentales definieron dos estructuras verticales, como si fueran un tubo dentro de otro que trabajaban conjuntamente. El tubo interior está formado por el núcleo de servicio y comunicaciones de hormigón armado. El exterior está formado por una estructura de perfiles laminados de acero, separados a poca distancia entre ellos, que actúa como un gran tubo perforado. El forjado que une los dos tubos permite el trabajo conjunto de ambos.

El tubo exterior trabaja cómo una ménsula empotrada en el suelo, formada por grandes pantallas aligeradas. Las caras paralelas a la acción del viento soportan el momento flector y las caras perpendiculares absorben el cortante. Los pilares interiores tan sólo soportan las acciones gravitatorias. De esta forma, el tubo exterior recupera la idea de estructura perimetral que colabora con el núcleo interior mediante el forjado, reduciendo la masa estructural del edificio.

## 9. La fachada-estructura (2)

Edificio para usos diversos. Frankfurt. 2010.

Arquitecto: Dietz Joppien Architekten.

### El edificio

El edificio está emplazado en un polígono industrial, en un entorno urbano heterogéneo, en el que establece una potente referencia urbana, simple y monumental frente al desorden visual de la zona. En planta, el edificio tiene forma de triángulo equilátero de esquinas redondeadas, situado en el cruce de dos calles. La gran abertura en voladizo de las dos plantas inferiores de una esquina permite relacionar el interior del edificio con el exterior de las calles.

El programa funcional es abierto y permite desarrollar usos industriales y comerciales. La planta baja en el patio interior está destinada a usos culturales y de entretenimiento. La disposición neutral de los huecos de la fachada, la posición de la estructura interior y los núcleos de instalaciones facilitan lotear la planta según las necesidades de espacio de las empresas.

### Estructura

La robustez del edificio se logra con la construcción de fachadas monolíticas y aberturas regulares de la misma forma. El volumen está ordenado en planta y alzado mediante la sucesión de ejes que optimizan su comportamiento estático, crean claridad estructural y lógica funcional.

La estructura vertical del edificio está formada por dos muros de fachada y una alineación de pilares ente ambos. Las dos crujeías que definen los pilares son asimétricas, una es mayor que la otra. Sin embargo el espacio interior presenta una simetría funcional clara. En el eje

central de la planta se disponen núcleos de instalaciones y servicios, de forma que los espacios libres entre ambas fachadas son iguales.

Los forjados soportan una elevada sobrecarga debida a los usos que se prevén. El forjado es de hormigón ligero estructural (HLE) armado de 30 cm. de espesor, y está apoyado sobre los muros de fachada y en los pilares. En la fachada interior del edificio, el forjado se prolonga más allá de la pared en voladizo, para formar una galería perimetral de acceso y relación con el patio. La rigidez del conjunto frente a los esfuerzos horizontales se consigue mediante tres núcleos de hormigón situados en las esquinas del triángulo.

### **Los muros de fachada estructural**

Son una construcción monolítica de HLE armado de 50 cm de espesor. La densidad del material empleado es de  $14 \text{ kN/m}^3$ , que ha sido posible por la inclusión de áridos porosos, más ligeros que los habituales en el hormigón armado HA. Aunque los áridos ligeros en principio reducen la resistencia a compresión del hormigón en relación a los áridos comunes del HA, el HLE tiene una resistencia característica a compresión de 25 MPa, suficiente para soportar las tensiones a que está sometido el muro.

El muro de la fachadas exteriores tiene aberturas que alternan tramos macizos de 1,20 de longitud, con tramos vacíos para las ventanas de 4,80 m, de modo que los huecos ocupan el 40% de la fachada. Con aberturas de luces tan amplias, los dinteles de las ventanas están fuertemente armados para soportar los esfuerzos de flexión. Los pilares interiores están separados 6 m. entre ejes. En la esquina del triángulo que coincide con el cruce de calles la fachada no llega al suelo, queda sobre el vacío de acceso al edificio, a 8 m. de altura. En esa zona, los muros de fachada trabajan como una gran viga Vierendel curva de tres plantas de altura. Aunque los muros trabajan principalmente a compresión, en esta esquina están solicitados a grandes tensiones de flexión que soportan unas armaduras reforzadas.

La técnica de puesta en obra reduce el número de juntas de hormigonado y retracción y de los orificios de anclaje de las planchas de encofrado. El resultado es una superficie lisa y continua, si bien no quedan totalmente ocultas las huellas de la ejecución.

El amplio espesor del muro de HLE es una buena solución constructiva para mejorar la resistencia térmica de la fachada, porqué la conductividad térmica del material es de  $0.57 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ . Este valor satisface los requerimientos de aislamiento térmico que se exigían cuando fue construido el edificio. Hoy, el objetivo de reducir el consumo de energía del edificio casi a cero, nos llevaría aumentar el espesor del muro.

### **El hormigón ligero estructural**

El HLE se obtiene con la incorporación de áridos ligeros o por la oclusión de aire en su masa. La densidad oscila entre  $12$  y  $20 \text{ kN/m}^3$  y la resistencia característica a compresión alcanza hasta 50 MPa. Con este material se pueden construir estructuras de hormigón más ligeras, con una buena resistencia térmica y acústica, que además es resistente al fuego como todos los materiales de origen pétreo. La conductividad térmica oscila entre  $0.5$  y  $0.7 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ .



Sin embargo requiere una puesta en obra más delicada que el hormigón HA. En este sentido, exige una compactación intensa y el proceso de endurecimiento de la masa presenta una retracción más alta. Su mayor porosidad obliga a aumentar el espesor de recubrimiento de las armaduras 5 mm más que en el HA. Para mejorar la impermeabilidad del material frente a la lluvia, la cara exterior debe ser hidrofugada.

## 10. La fachada convencional

Edificios de viviendas en la Villa Olímpica. Barcelona. 1992  
Arquitectos: Lluís Clotet e Ignacio Paricio

### Los edificios

Con motivo de los Juegos Olímpicos de Barcelona se construyó un barrio de viviendas frente al mar. El Plan Especial de la Vila Olímpica imponía que la fachada de los edificios de viviendas debía ser de obra de fábrica de ladrillo vista, para asegurar la coherencia compositiva del conjunto y permitir una cierta variedad en cada proyecto.

La sección constructiva de las fachadas de los edificios de la Villa en general es la que denominamos fachada convencional. Sin embargo la proyectada por los arquitectos Clotet y Paricio, es una propuesta diferente que mejora sus prestaciones y durabilidad.

### La fachada convencional

La fachada de obra de fábrica de ladrillo de un pie de espesor fue una solución común en los edificios de viviendas, hasta la llegada de las exigencias normativas de ahorro de energía en la década de los setenta. A partir de entonces, para alcanzar la resistencia térmica que debe tener la fachada es necesario incorporar material específico de aislamiento térmico.

La sección de la nueva pared de fachada quedaba definida por una pared exterior de medio pie de espesor de ladrillo, un delgado tabique interior y entre ambas una cámara de aire sin ventilar con un material de aislamiento. La pared exterior queda insertada entre los forjados deformables de la estructura. Para formar el hueco de las ventanas y puertas, la pared exterior gira hasta el cara interior de la fachada, en la que se fijan las carpinterías. Es una solución constructiva que pretende mantener la imagen del muro macizo, pero no es coherente con el comportamiento mecánico, higrotérmico y frente a la estanqueidad de la fachada de dos hojas.

La solución convencional es origen de numerosas lesiones de diferente índole. La pared exterior a menudo presenta problemas de falta de estabilidad porque el apoyo sobre el forjado es insuficiente. En las paredes de las plantas inferiores se producen lesiones debidas a la falta de resistencia a la transmisión de las acciones verticales. En el hueco de la fachada, la falsa trabazón entre ambas, no resiste las tensiones derivadas de la diferencia de temperatura a que están sometidas, que pueden superar las admisibles de la unión y son origen de fisuras que facilitan la entrada del agua en la pared.

La pared exterior no es estanca si no está revestida. La falta de continuidad del aislamiento, cuando se interrumpe en cada forjado, es origen de puentes térmicos y de condensaciones. La solución de la jamba también es origen de puentes térmicos y en consecuencia hay peligro de condensaciones superficiales. Y así podríamos seguir con otros problemas de la fachada. Los errores y las consecuencias de esta sección constructiva han sido ampliamente criticados en la literatura especializada. Y las frecuentes lesiones que aparecen en la práctica demuestran la validez de los argumentos que hemos expuesto. Hoy ya no podemos considerarla una solución constructiva fiable.

### **La fachada de los edificios de la Villa Olímpica**

Cuando se construyeron los edificios de la Villa Olímpica, la fachada convencional era todavía la solución dominante en la construcción de fachadas de edificios de viviendas. No obstante los autores del proyecto propusieron una solución de fachada que resuelve muchos errores endémicos de ella. La fachada de edificio tiene una sección constructiva formada por dos paredes, con una cámara de aire ventilada entre ambas, en contacto con la pared exterior, y un material de aislamiento al lado interior. La solución de apoyo sobre el forjado también es diferente a la convencional.

El drenaje y la ventilación de la cámara de aire mejoran la estanqueidad, porque el agua que atraviesa la pared exterior y pasa a la cámara se puede evacuar por las llagas sin mortero situadas en la base de la pared. La ventilación de la cámara de aire se produce entre el pie de la pared, a través de las llagas vacías y más arriba a través de la abertura que deja el paso de la persiana u otras llagas abiertas. La ventilación de la cámara evita la posibilidad de aparición de condensaciones intersticiales en el espacio entre ambas paredes.

La estructura del edificio está formada por un forjado y pórticos paralelos a la fachada de hormigón armado "in situ". Por debajo del forjado descuelga la viga de canto del pórtico y por la cara exterior de la viga sobresale el borde del forjado formado por una losa de 14 cm. de vuelo y 12 cm. de espesor, en la que se apoya la pared exterior. La menor sección del borde forjado, reduce la discontinuidad del material de aislamiento, facilita el drenaje y la ventilación de la cámara de aire interior y desvincula la pared exterior del forjado superior.

El remate superior de la pared exterior no está atracado al trasdós del borde del forjado, el espacio entre ambos se sella con un material elástico que asegura la estanqueidad. El sellado es deformable y no transmite las cargas las verticales, que se transfieren cuando la pared está atracada contra el forjado. La estabilidad de la hoja exterior no depende de la fricción de la pared con el forjado superior, porque está sujeta a la pared interior mediante unas varillas de acero inoxidable, que se fijan en los extremos de los dinteles de piedra artificial. La pared interior está formada por tramos de tabicón de cerámica hueca y los pilares de hormigón en forma de pantalla.

El canto del forjado está rematado por una pieza especial de piedra artificial a modo de imposta plana que además resuelve el vierteaguas de las ventanas. Las piezas en forma de L invertida no están en contacto con la cara exterior del canto del forjado, de manera que no hay continuidad material. Sin embargo, no es una rotura de puente térmico totalmente efectiva, porque la resistencia térmica de esa sección es menor que en el resto de la fachada; pero al



menos el tramo de forjado sin aislamiento se ha reducido a un tercio del habitual en la solución convencional.

## 11. La fachada ventilada de fábrica de ladrillo

Biblioteca de la Queen Mary University. Londres, 1988

Arquitecto: Colin St John Wilson

### La biblioteca

A lo largo de su carrera, Sir Colin St John Wilson construyó varios edificios destinados a bibliotecas, el más conocido de ellos la British Library en Londres. En estos edificios, utilizó la fachada de ladrillo visto para conseguir, según él mismo explicaba, una imagen modesta, sólida y tranquila.

El rigor de la composición en planta y alzado se corresponde con la organización funcional de la biblioteca y la eficiencia de las soluciones técnicas proyectadas, ajustadas a un presupuesto limitado. En la fachada, se utilizó la solución de fachada tradicional inglesa de la cavity wall, en una versión contemporánea en que la pared interior no forma parte de la estructura del edificio.

### El muro de fachada

El muro está formado por dos paredes de obra de fábrica vista: la exterior de ladrillo y la interior de bloque de hormigón. Entre ambas, se interpone la cámara de aire y el material de aislamiento térmico. Las deformaciones diferenciales originadas en la retracción del hormigón de la estructura y las dilataciones de la pared de ladrillo en toda la altura del edificio aconsejaban proyectar una solución constructiva que permitiera el libre movimiento de la pared exterior en relación con la estructura.

La pared exterior de ladrillo presenta un problema de esbeltez, porque desde la cimentación hasta el remate de la cubierta hay 15,5 m de altura. Para no incrementar el espesor de la pared –de 11,5 cm de tizón–, se debe reducir su esbeltez limitando la altura libre. Así, la pared exterior se descompone en dos tramos independientes: el inferior, de 11,5 m de altura, y el superior, de 4 m, apoyado sobre una imposta.

La imposta es una pieza prefabricada de hormigón armado, suficientemente rígida y resistente para soportar el peso del tramo superior de la pared, sin que su deformación la afecte. Una deformación excesiva de la imposta transmitiría las cargas de la pared superior a la inferior, lo cual podría fisurarla si quedara sometida a esfuerzos imprevistos. Este recurso constructivo resulta determinante en la composición geométrica del plano de la fachada.

La segunda solución técnica de la fachada que observamos es la abertura del hueco para la ventana. El hueco se plantea con la intención de ocultar o hacer menos visibles los materia-

les y las soluciones constructivas necesarios para formarlos, como el dintel y el vierteaguas; en definitiva, para desmaterializar su construcción.

El dintel exterior está formado por un perfil de acero en forma de L, con una cartela a 45° que une ambas alas y aumenta la rigidez de la sección. La pared exterior descansa sobre la base de la L, que tiene poco espesor porque su vuelo se ha reducido con la cartela. El perfil en L está unido al dintel interior de hormigón armado, que es finalmente el elemento que soporta ambas paredes en el hueco. La inclinación de la cartela también permite evacuar la humedad de la cámara drenada al exterior. En su conjunto, es una solución brillante porque resuelve en una sola pieza dos funciones: la mecánica y la de evacuación de la humedad interior de la cámara de aire.

El vierteaguas también está formado por una delgada chapa de acero. Dintel y vierteaguas están acabados del mismo color que los montantes y travesaños de la carpintería. Las ventanas están formadas por una sola hoja practicable, de modo que solo tiene perfiles perimetrales. El vidrio oscurecido facilita la percepción más abstracta de los huecos sobre un paramento continuo de ladrillo, que parecen recortados en la fachada como en una maqueta.

### **La cavity wall**

El muro de dos hojas con cámara de aire drenada y ventilada ya aparece en la literatura técnica inglesa a finales del siglo XIX y se incorpora a la normativa de construcción en 1928. En su origen, se propone para mejorar la estanqueidad de la fachada frente a la acción de la lluvia. Más tarde, cuando se incorpora el aislamiento térmico entre las paredes, también se pueden apreciar las ventajas higrotérmicas de la cámara ventilada. La cámara, en verano, mejora el confort térmico interior y, en invierno, reduce el peligro de condensaciones dentro del muro. Sin embargo, implica una mayor complejidad constructiva.

El principal problema que plantea esta solución es de orden mecánico y de proceso de ejecución. La pared exterior debe moverse libremente, de forma que no ha de quedar unida a los forjados y pilares. Además, para asegurar el drenaje de la cámara y mantener la continuidad del material de aislamiento, es necesario desvincular la pared exterior de la estructura y mantener su estabilidad.

La estabilidad se resuelve disponiendo en los tendeles lañas de acero inoxidable que unen ambas paredes. A medida que crece la esbeltez de la pared exterior, es decir, que aumenta la relación entre la altura libre y su espesor, se incrementa el número de lañas. Pero cuando la altura de la pared de la fachada supera los 10 m, ese recurso ya no es suficiente y resulta necesario reducir su altura libre, segmentando la continuidad vertical de la fachada en diversos tramos.

Aunque la pared exterior no participa en el descenso de cargas del edificio porque no forma parte de la estructura, debe soportar su propio peso y las acciones horizontales. Para evitar este problema y mejorar la solución constructiva, la pared exterior descansa sobre apoyos rígidos y resistentes cada dos o tres plantas, tal como se plantea en las normas europeas al uso. El plano de apoyo coincide con el forjado o con el nivel de los dinteles.



## 12. La fachada de hoja exterior ligera

Edificios en la Cité International. Lyon. 2006  
Arquitecto: Renzo Piano Building Workshop

### Los edificios

La Cité International forma parte un proyecto urbano de modernización de la ciudad de Lyon en la ribera del Ródano. Es una gran urbanización de edificios para uso comercial, viviendas, centros de negocios y de conferencias.

La composición de las fachadas varía en función de los usos de los edificios. Los hay con amplias oberturas acristaladas, galerías cerradas, brise-soleils y grandes superficies sin oberturas. No obstante, todo el conjunto mantiene una unidad arquitectónica basada en la utilización del mismo material en los tramos de fachada opacos y celosías, formados con grandes piezas cerámicas.

### La fachada de hoja exterior ligera

El sistema constructivo del tramo opaco de la fachada es el resultado de la evolución de la sección que hemos visto en el caso anterior. La hoja interior continúa siendo pesada y maciza y el aislamiento fijado sobre ella permanece igual, pero la hoja exterior es ligera y de poco espesor, y está sujeta a fijaciones mecánicas.

La pared exterior de obra de fábrica de albañilería ha sido substituida por una hoja más delgada montada sobre una subestructura. La industria de la fabricación de piezas cerámicas ha pasado del pequeño tamaño del ladrillo al gran formato, que en consecuencia ha llevado a substituir la técnica artesana de puesta en obra por el montaje mediante un sistema constructivo industrializado.

La hoja exterior ya no es una pared de albañilería con ladrillos unidos con mortero, ahora está formada por grandes piezas cerámicas colgadas de una subestructura de acero galvanizado y colocadas con juntas abiertas.

La imagen de la pared de albañilería está basada en la textura, el dibujo menudo de las juntas de mortero que es el paradigma de la tectónica de la arquitectura tradicional. La hoja exterior colgada es de material cerámico como el ladrillo, pero de mayor tamaño y juntas más delgadas, de 8 mm de espesor. El paramento de fachada mantiene la planeidad y alineación de las juntas mediante el preciso sistema de regulación de la subestructura de soporte. El tamaño de las piezas y su sistema de fijación reduce el número de juntas entre ellas, su espesor y el aspecto porque están vacías sin mortero.

El aparejo de los ladrillos en la pared de albañilería nos asegura la condición necesaria de la trabazón entre ellos. En la fachada colgada no es necesario, unos delgados perfiles verticales

separan las grandes piezas y ordenan la alineación de las juntas. Pasamos de la forma masiva tradicional, a la plana, lineal y ligera de las formas industriales.

El funcionamiento higrotérmico y frente a la estanqueidad de la fachada permanece en lo fundamental como en el caso de estudio anterior. Las juntas abiertas permiten la ventilación de la cámara de aire. El trasdós de la hoja exterior perfectamente plano facilita el movimiento laminar del aire dentro de la cámara y el descenso del agua hacia el exterior. La continuidad vertical de la cámara es mayor que en la hoja de fábrica de ladrillo que debe descansar sobre un soporte plano cada 10 m. de altura. Sin embargo esa continuidad es un inconveniente a la hora de evitar la propagación de humos y fuego a través de ella. Así, la cámara está segmentada en tramos cortos y se dispone en el interior un material de aislamiento que no es inflamable ni combustible. En estos edificios la cámara está interrumpida a la altura de los forjados mediante un perfil de aluminio.

La fachada desde lejos parece formada por una lámina tersa, de aspecto casi metálico. Una lectura más próxima nos permite apreciar el material cerámico. La composición de la fachada con juntas horizontales vacías, perfiles metálicos situados en el forjado y juntas verticales continuas en cada tramo, muestran una imagen industrial y tecnificada de la fachada.

### **Las piezas de gran tamaño**

Las piezas utilizadas en este edificio están formadas por arcilla endurecida en un proceso de cocción en horno a altas temperaturas. El proceso de moldeado de las piezas planas es mediante extrusión, aunque las piezas especiales que resuelven las esquinas son prensadas. En la extrusión, la mezcla de arcilla pasa a través de una boquilla que da la forma definitiva de la sección. A continuación se cortan las piezas según la longitud establecida, se inicia la fase de secado y cocción a una temperatura de 1200°.

Las piezas tienen una sección hueca de 40 mm. de espesor. La resistencia obtenida por la cocción a alta temperatura y el espesor de la pieza permiten fabricarlas de gran tamaño. De este modo se simplifica la complejidad del proceso de montaje, porque el número de montantes de la subestructura y de las fijaciones es menor. Las piezas son de tamaño variable, miden de 20 a 42 cm de altura y su longitud llega hasta 150 cm. Ppesan 61 Kg por m<sup>2</sup>.

El sistema de fijación está formado por unos clips de acero inoxidable que se bloquean en una junta corrida en la base de la pieza. El clip va fijado a los montantes verticales de la subestructura y estos a la pared de soporte mediante fijaciones regulables. Este sistema de montaje facilita la sustitución de piezas cuando es necesario.

En proyectos posteriores Renzo Piano ha seguido utilizando y desarrollando este sistema constructivo en edificios de viviendas y oficinas en Italia y Alemania.



### **13. La fachada con aislamiento térmico por el exterior**

Edificio de viviendas en Vallecas. 2010.

Arquitectos: Oscar Rueda y María José Pizarro

#### **Edificio**

Es un edificio de viviendas de promoción pública en el nuevo ensanche de Vallecas, situado en una parcela cuadrada, con un chaflán orientado a oeste. Los arquitectos argumentan que la forma singular del volumen del edificio es el resultado de decisiones que se tomaron con parámetros más próximos a las leyes de la termodinámica y a modelos teóricos de la física que a los conceptos habituales de composición.

En el volumen definido por la normativa, se introducen una serie de operaciones que pretenden respetar la imagen unitaria del conjunto y lograr unas viviendas mejor orientadas, con mayor confort térmico y lumínico.

#### **La volumetría**

La propuesta volumétrica dispone más viviendas orientadas a sur y aumenta su perímetro de fachada para lograr una mayor iluminación y soleamiento, frente a la solución inicial de manzana cerrada que reduce la longitud de la fachada.

El volumen del edificio es continuo en las tres primeras plantas. A partir de esa altura, se modela en dos volúmenes, según las necesidades de luz y Sol, que acaban definiendo su identidad arquitectónica. El volumen definido por la normativa se transforma mediante el vaciado del frente noroeste, con lo cual se logra la mayor superficie posible de fachada orientada a sur, ajustando su edificabilidad. Asimismo, se reduce la altura del volumen sur y se crea un plano inclinado para tener soleamiento en las fachadas menos favorables. De la planta sexta a la octava, la fachada se inclina y configuran una envolvente continua que resuelve el problema de los áticos. Así pues, a partir de la tercera planta, quedan claramente definidos dos volúmenes, con viviendas pasantes de doble orientación: al sur, las zonas de estar y, al norte, las habitaciones.

#### **Solución constructiva de la envolvente**

Uno de los temas de la composición de la forma en la arquitectura contemporánea es el intento de dar continuidad material de la fachada y la cubierta, para resolver el volumen de forma más abstracta, menos tectónica. En este edificio la inclinación de los planos de las fachadas propone la ambigua condición de fachada y de cubierta inclinada al mismo tiempo. Así, la singular solución constructiva consiste en facilitar la continuidad material de los planos verticales e inclinados de la fachada, de forma coherente con la idea de abstracción del volumen que se pretende.

La envolvente del edificio está resuelta mediante la aplicación del sistema de aislamiento térmico exterior, generalmente denominado SATE. La solución constructiva está formada por un soporte rígido de pared de obra de fábrica en la fachada y de tableros de partículas de madera

hidrófugos fijados a una subestructura de chapa plegada de acero en la fachada inclinada, sobre los cuales se aplica el SATE. La sección del sistema está formada por placas de aislamiento térmico dispuestas sobre el soporte con fijaciones de mínimo puente térmico. Sobre el aislamiento, se tiende el mortero de cemento con ligantes orgánicos, armado con una malla de fibra de vidrio en su interior, que reduce el número de juntas de retracción habituales. La ventaja principal de esta solución es la eliminación de los puentes térmicos en la unión de la fachada con el forjado y en la formación de las aberturas de fachada. También incrementa la inercia térmica de la fachada, la impermeabilidad al agua de lluvia, la permeabilidad al vapor de agua y, en conjunto, la reducción del riesgo de condensaciones.

Los huecos de fachada se resuelven utilizando tres tipos. En las salas de estar, son de 2,40 m de anchura y están orientados a suroeste; en las habitaciones, son de 0,75 m de anchura y están orientados a noroeste, y en los tendederos y núcleos verticales de comunicación, son de 0,20 m de anchura. El funcionamiento energético del edificio se completa con un sistema de captación de energía solar térmica.

### **El sistema de aislamiento térmico exterior (SATE)**

Las fachadas construidas con el SATE presentan características diferentes de las fachadas convencionales. La principal es que el aislamiento se sitúa en la cara exterior de la pared. Es una solución inicialmente planteada para resolver la rehabilitación térmica de edificios de viviendas, que se ha extendido a la obra nueva.

El aislamiento va fijado al soporte rígido con adhesivo químico y fijaciones mecánicas. Puede ser plástico o de origen mineral (lana de roca, por ejemplo), que tiene un mejor comportamiento frente al fuego. El material de acabado es un mortero de cemento que incorpora resinas sintéticas en dispersión o emulsiones siliconadas que permiten alcanzar valores altos de impermeabilidad, resistencia y flexibilidad. Se compone de dos capas, entre las cuales se dispone la armadura de fibra de vidrio que se fija mecánicamente al soporte. La primera capa del mortero es de base, para conseguir la planeidad y adherencia al soporte sobre el cual se dispone la malla de fibra de vidrio. Encima, se tienden las capas de imprimación y acabado, o simplemente de acabado. En su conjunto, el revestimiento tiene 5 o 6 mm de espesor. Cuando se utiliza en las zonas bajas del edificio, al alcance de posibles acciones vandálicas, el sistema debe ser reforzado con doble malla y mayor espesor. O puede ser sustituido por un material diferente, más resistente y adecuado al lugar.

## **14. La ventana**

Casa Malaparte. Isla de Capri, 1937

Arquitectos: Curzio Malaparte y Adalberto Libera

### **La casa**

El escritor italiano Curzio Malaparte se hizo construir una casa en un acantilado de la isla de Capri sobre el golfo de Palermo, desde donde hay unas vistas espectaculares sobre el mar. El autor del proyecto fue el arquitecto Adalberto Libera, uno de los más reconocidos archi-



tectos racionalistas italianos. No obstante, a lo largo del proceso de construcción, Malaparte y el constructor Amitrano lo modificaron. No está claro todavía quién aportó más al proyecto, pero finalmente Malaparte, cansado del excesivo racionalismo del proyecto original y de su escasa mediterraneidad, acabó transformándolo. Seguramente, las ventanas de que hablamos fueron uno de los cambios.

### **La inmaterialidad de la ventana**

Antes de referirme a las ventanas de la casa de Capri, es necesario hacer una referencia previa a la obra del pintor norteamericano Edward Hopper. Uno de los temas que se repite en su obra es el del personaje junto a la ventana o mirando a través de ella. En ambos casos, el paisaje entra en la pintura a través de la ventana que hay enfrente del protagonista. En las pinturas de Hopper, la ventana, entendida como elemento técnico y funcional, desaparece. Incluso parece que el hueco no tiene cristal, porque no hay reflejos ni distorsión óptica del paisaje. El hueco de la ventana carece de montantes, travesaños, peana y herrajes, que se interpondrían en la relación entre el personaje y el paisaje. En definitiva, es una desmaterialización de la ventana como elemento constructivo.

En la casa de Capri, Curzio Malaparte pretende desmaterializar la ventana. En la película *La pelle* (1981) de Liliana Caviani, basada en la novela homónima de Malaparte, el protagonista –alter ego del autor– explica a una invitada frente a una ventana que los albañiles construyeron la casa y él mismo puso el paisaje. Así que trataremos de explicar cómo Malaparte diseñó unas ventanas que satisfacen las exigencias técnicas y, sobre todo, que permiten enmarcar las espectaculares vistas sobre los acantilados de la isla.

### **La solución constructiva**

Con la tecnología de que disponemos actualmente, es perfectamente posible tener una ventana en la cual no se vean ni su estructura ni sus mecanismos. A menudo, estas soluciones sacrifican funciones como la ventilación, que debe resolverse con otros mecanismos, o la solución para facilitar la limpieza desde el interior.

Las ventanas de la casa tienen formas diferentes y, desde el exterior, siguen una composición desordenada. Los tamaños de las aberturas son pequeños en relación con el paramento de la fachada y manifiestan que los muros son la estructura del edificio. La intención de Malaparte era introducir el paisaje en la sala principal, como si fuera una pintura, de forma que las ventanas enmarcan las vistas sobre los acantilados.

En la sala principal de la planta superior, se puede ver que hay cuatro ventanas, dos en cada fachada. Para resolver el problema de desmaterializar la ventana, prescindir de montantes y travesaños que entorpecen la visión del paisaje y rompen la unidad del hueco, es necesario pensar en la ventana más allá de los recursos formales y técnicos habituales.

La ventana más interesante es la de forma cuadrada que está casi enrasada con la cara exterior del muro de fachada. Está integrada por dos hojas: la inferior es fija y está sujeta a un delgado marco de madera medio oculto, y la hoja superior, sin marco, gira sobre un eje horizontal. Por tanto, la ventana tan solo tiene el marco perimetral, en vez de su propio

marco y el de las hojas. El eje horizontal de la ventana practicable no está formado mediante un travesaño, porque la dividiría en dos partes. La solución al problema son unas pinzas que sujetan la hoja de cristal en cada lado. La rigidez y la resistencia del vidrio resuelven la función de eje de giro de sí mismo. Este recurso es muy hábil para solucionar la ventilación y la limpieza desde el interior. Para asegurar mejor su estanqueidad al agua, el vidrio de la hoja superior se monta unos pocos centímetros sobre el inferior.

El otro tipo de ventana de la sala es rectangular, más amplia que la anterior, de modo que la ventana giratoria no es una solución razonable. Las hojas de la ventana están formadas por vidrios sin marco, que se desplazan horizontalmente sobre unos carriles, como en las ventanas correderas. Todo el amplio hueco de la ventana mantiene su unidad sin que ningún montante la interrumpa. Finalmente, el perímetro del hueco interior se enmarca con unos amplios tapajuntas cuya sección es como la de los marcos de los cuadros.

Si las ventanas estuvieran enrasadas con la cara interior del muro de fachada, la unión entre la obra y la ventana estaría más protegida frente a la acción combinada del viento y del agua, y el tapajuntas además mejoraría la estanquidad al agua de la unión entre el marco y la obra. No obstante, en conjunto, la solución técnica de la idea de la ventana-paisaje de Malaparte es verdaderamente interesante.

## 15. La protección solar

Edificio vertical Itam. Sao Paolo. (2014).  
Arquitectos: Studio MK27, M. Kogan, C. Castroviejo

### El edificio

Es una torre de viviendas de trece plantas de altura de una sola vivienda por planta. El núcleo de accesos es interior y todas las estancias tienen fachada al exterior. Los dormitorios y la zona de día están orientados a norte y este. Como el edificio está situado en el hemisferio sur ambas fachadas están bien soleadas.

La versatilidad de la planta de la vivienda permite adecuar los espacios a las necesidades del usuario. El estar tiene grandes ventanales y una terraza que aumentan la relación con el exterior. La esquina noreste de cada vivienda cuenta con una terraza que extiende la sala de estar al exterior por medio de ventanas correderas. A lo largo de las fachadas norte y este se disponen grandes ventanas que permiten tener amplias vistas de la ciudad.

Las ventanas están protegidas por paneles calados de madera que determinan la imagen característica del edificio. Los usuarios pueden manipular los paneles para adaptarlos a diversas condiciones ambientales. Las otras dos fachadas son muros opacos de hormigón armado "in situ"



## La protección solar de la fachada

Las fachadas acristaladas de suelo a techo quedan protegidas del sol por paneles móviles que permiten controlar el soleamiento y la luz que recibe el espacio interior. Los usuarios pueden mejorar su confort desplazándolos y plegándolos según sus necesidades.

Los paneles son de madera calada, semejantes a los “muxarabis” que se utilizaban en la arquitectura colonial portuguesa, regulan la luz que entra en la vivienda y el exceso de radiación solar. Cuando las ventanas correderas permanecen abiertas, los paneles calados también facilitan la circulación del aire para enfriar las estancias. Los paneles formados con listones de madera tienen muchas perforaciones de pequeño tamaño, abiertas al paso del aire que circula a través. De esta forma el aire aumenta su velocidad y produce un efecto refrescante.

Lo más interesante de esta protección solar, además de cumplir la función de control ambiental de la vivienda, es la versatilidad de posiciones que puede tener para adaptarse a las exigencias variables del plano de fachada. Los paneles protegen y dejan ver el exterior, tamizan el paso de la luz y el sol o pueden estar totalmente abiertos. Cuando las protecciones están cerradas el edificio recupera la imagen opaca y maciza; si están abiertas su imagen es más ligera y transparente. Por la noche cuando las protecciones quedan cerradas y todavía hay luz en el interior, el edificio adquiere una imagen luminosa como una lámpara que proyecta una luz tenue a través de la pantalla.

Durante el día las protecciones pueden estar completamente abiertas, plegadas hacia fuera ocupando el espacio del estrecho voladizo que rodea la fachada, dejando los acristalamientos vistos al exterior. El voladizo tiene la función de proteger del sol la fachada y el espacio interior.

La movilidad de los paneles permite acomodar la luz exterior a las exigencias de uso del espacio interior, de modo que la iluminación artificial no es necesaria durante el día. La movilidad de los paneles convierte la fachada de día en un elemento vivo, variado, que explica los diferentes usos de la vivienda mediante la dispersa composición de paneles y acristalamientos.

## El mucharabí

Es un dispositivo de ventilación natural característico de la arquitectura tradicional de los países árabes. De estos países pasó a la península ibérica, que podemos encontrarlos por ejemplo en las fachadas de la Alhambra de Granada. Los colonizadores portugueses lo difundieron en las zonas cálidas del Brasil, incorporándolos a la arquitectura colonial. Más tarde, en el siglo XX fueron utilizados como elemento singular de la arquitectura moderna en Brasil. La geometría de los dibujos que forman los huecos del panel admite diversas posibilidades formales.

La arquitectura brasileña utiliza protecciones solares diversas: las celosías, “cobogós” y “muxarabis” son habituales. Este último se diferencia de los demás por la relación visual que se produce entre el exterior y el interior, porque permite mirar sin ser visto. También

cuando el aire que atraviesa el mucharabí se pone en contacto con superficies húmedas -desde estanques a recipientes llenos de agua- la evaporación del agua causa un efecto refrescante del ambiente. Es un elemento arquitectónico que mantiene una relación fácil y fluida con el entorno y reduce el consumo de energía.

La arquitectura contemporánea cada vez más atenta a los fenómenos termodinámicos de las fachadas ha incorporado este elemento constructivo a las soluciones de protección solar. Los encontramos realizados en diferentes materiales: morteros armados con fibras, madera, chapas metálicas diversas, materiales compuestos y cerámica.

## 16. La cubierta inclinada

Casa de Té Boa Nova. Matosinhos. Portugal. 1958

Arquitecto: Alvaro Siza Vieira

### El edificio

El restaurante La Casa de Té está construido en una zona residencial de Porto. El edificio se asienta sobre un risco de poca altura frente a una playa de rocas y piedras en la costa de mar Atlántico.

La geometría de la planta se adecúa a la topografía del lugar y se articula para definir los dos espacios principales: el comedor y el salón de té. Los volúmenes de la cocina y de los espacios de trabajo que sirven al comedor están semienterrados. La sala del comedor está un poco elevada por encima de las rocas, relacionada con la entrada por un atrio y la escalera.

El esfuerzo de adecuación del edificio al paisaje es más evidente en la forma en que la fachada se abre al espacio exterior, más abierta frente al mar y cerrada en la fachada de acceso opuesta. Unos grandes aleros corridos, que son prolongación de los techos de las salas, protegen y modifican la intensidad de la luz que viene del mar.

### La forma de la cubierta

Las cubiertas están formadas por la adición de varios volúmenes que vierten aguas a la playa de rocas frente al mar y en la cara opuesta, a los accesos. La geometría de la cubierta no tiene una forma tan regular como las tradicionales. Los planos están limitados por aristas en diferentes direcciones y las cumbreras están a alturas desiguales.

El perímetro de la fachada al mar es quebrado porque se adapta a la topografía, al recorrido del sol y a las mejores vistas. Los faldones de las cubiertas van girando levemente y toman direcciones quebradas entre ellos. La intersección de los faldones de cubiertas son las diagonales que forman las limahoyas.

Los faldones de cubierta enfrentados no se encuentran en las cumbreras, porque están a alturas diferentes. Los espacios interiores del restaurante tienen unas alturas que varían en



función de su uso. La libertad de las alturas de esos volúmenes facilita que entre el nivel de la cumbrera más alta y la más baja exista un paramento vertical acristalado que se utiliza para captar la luz natural e introducirla en el restaurante de forma controlada. La geometría de la cubierta no es regular y aparenta un cierto desorden compositivo, pero es eficaz para dotar de ventilación e iluminación a las zonas más oscuras del edificio.

La puesta de sol frente al mar es una de las atracciones del lugar, de modo que la fachada de los salones del comedor está orientada a oeste. En esta orientación, no es fácil proteger la fachada de la radiación del sol que incide con un ángulo tan bajo. Si bien la cubierta tiene un gran voladizo que resguarda la fachada, no es un recurso suficientemente eficaz sobre todo a últimas horas de verano. El voladizo, en cambio, sí que es un recurso útil frente a la lluvia común en esta costa. Si no viene un fuerte viento de mar, permite ver protegido el espectáculo de la lluvia sobre la playa de rocas y el mar.

### **La sección de la cubierta**

En las diversas secciones del edificio podemos apreciar varios cambios de inclinación de los faldones de cubierta. En el plano vertical de encuentro de unos sobre otros se disponen ventanas, que captan la luz a medida que el interior del edificio se aleja de la fachada al mar. En la sección interior de la cubierta unos planos a modo de pantallas reflejan la luz natural. Los faldones de cubierta tienen unas pendientes muy bajas para una cubierta de tejas de estas características. Seguramente, en las rehabilitaciones que ya se han realizado dos veces se ha reforzado la estanqueidad con láminas o membranas impermeables.

El trasdós del alero en voladizo de la cubierta muestra la estructura de cabios de caoba que lo soporta. La continuidad del trasdós de la cubierta inclinada en el espacio interior permite que, cuando se abren las puertas de la fachada al mar, el espacio exterior fluya hacia el interior. Es destacable la hábil solución de las carpinterías de las fachadas de los comedores que se abren deslizándose verticalmente hacia abajo y permanecen escondidas en el suelo, por lo que apenas se percibe la separación entre espacios.

El canalón de faldón que vierte aguas a la playa queda oculto en el remate inferior del alero, que desagua mediante unas gárgolas en los extremos. Las tejas de la primera hilada están ocultas por una tabica de madera que forma la arista del remate, que sigue una línea quebrada y tensa.

En su conjunto los diferentes volúmenes de la cubierta y el remate del alero presentan soluciones constructivas alejadas de las tradicionales de las cubiertas inclinadas de tejas.

### **Las tejas romanas**

Las tejas romanas tienen origen en el imperio Romano y llegaron a la península ibérica durante los siglos de dominio imperial. Las tejas son de arcilla cocida y tienen una forma poco común. A diferencia de la teja árabe, que son todas iguales, las tejas romanas distinguen entre la teja canal y la cobija. La teja canal llamada "tégula" es de forma rectangular y sus los lados están levantados a modo de pestaña. La junta horizontal entre los lados menores de las tejas es solapada. El solape es una unión a "medio corte" formada al rebajar los extremos

de las aristas laterales de las tejas. La teja cobija se llama “ímblice”, es de forma ligeramente troncocónica para solaparse unas sobre otras y monta sobre el hueco que queda entre dos tégulas consecutivas.

En el imperio Romano, el número de “tégulas” utilizado era un indicador útil para conocer las dimensiones aproximadas de la cubierta del edificio, que se utilizaba como medida de superficie en las ordenanzas urbanas de las ciudades.

## 17. Cubierta plana transitable

Escuela infantil Fuji. Japón. 2007.  
Arquitecto: Takaharu + Yui Tezuka Architects.

### La escuela

La parcela del edificio tiene forma irregular, limitada por un cuadrilátero de lados que no son paralelos, de modo que no facilita el desarrollo de una planta ortogonal, como es habitual en estos centros.

La escuela se adapta a la parcela mediante una planta en forma de corona de óvalo, que define un volumen cerrado con un patio en el centro. La corona oval es excéntrica y el eje más largo sigue la dirección de la diagonal mayor de la parcela. La separación entre el perímetro exterior y el interior de la corona es variable: en el eje más largo, la distancia es mayor en un extremo que en el otro.

El edificio tiene una sola planta y la cubierta es una gran terraza que permite aumentar el área de juegos de los niños mayores. Su baja altura permite ver desde el patio la actividad de los niños en la terraza. Las fachadas están formadas por grandes carpinterías acristaladas, de manera que la cubierta parece flotar sobre la planta baja.

### La estructura de la cubierta

La geometría de la estructura de la planta de la terraza es compleja como corresponde a una forma curva que no sigue una geometría radial, de modo que la estructura de perfiles de acero laminado se ordena en tres clases según su función.

La primera clase de perfiles define una geometría de tres óvalos, formados por el perímetro interior y exterior de la terraza, y otro óvalo en el centro para reducir la distancia entre los dos perimetrales. En la segunda clase, los perfiles mayores se disponen según una línea quebrada y en diagonal, para formar una corona de óvalo triangulada en su interior; cómo si fuera una cercha plana cerrada. Así, el plano de la estructura se rigidiza frente a acciones horizontales. La tercera clase de perfiles a modo de correas, se dispone de forma perpendicular a los perfiles del perímetro del óvalo.



El forjado de la terraza está compuesto por una chapa de acero galvanizado de sección grecada, sobre la que se vierte hormigón armado. La chapa de acero está situada por debajo del ala superior de los perfiles principales de acero. La situación de la chapa y del aislamiento por debajo del ala superior de los perfiles obliga a recortar ambos materiales para adaptarlos a la complicada geometría definida por la malla de perfiles perimetrales y en diagonal. Se podría haber reducido la complejidad de esta solución constructiva si ambos materiales estuvieran sobre el ala superior de los perfiles. En este caso el hormigón se vertería sobre la chapa de acero para formar una losa continua más sencilla.

### **La cubierta plana transitable**

La cubierta del edificio es una aplicación del concepto de cubierta transitable, a modo de terraza, que los arquitectos ya habían desarrollado en la casa-terraza, en Hatano-Shi. La idea más interesante es que se puede utilizar cómo espacio exterior para actividades al aire libre. En definitiva la cubierta se convierte en la segunda planta de la escuela.

Aunque la forma de la cubierta parece simple, no lo es. En primer lugar los perímetros de los dos óvalos se mantienen planos, pero a alturas diferentes, algo más alto el exterior que el interior. Como la planta del óvalo es excéntrica, es decir la distancia entre ambos perímetros varía entre las dos secciones más distantes, la sección de la terraza es ligeramente curvada.

El suelo de la terraza está formado por un pavimento flotante de madera, un poco inclinado hacia el patio inferior para facilitar el recorrido del agua hacia el canalón. La superficie de la terraza está interrumpida por exutorios para la ventilación y la entrada de la luz a las aulas de la planta baja. También unos grandes huecos abiertos en la cubierta dejan paso a los árboles que ya existían en el terreno y son un elemento más de juego.

El pavimento de la terraza es de delgas de madera de dirección recta sobre una subestructura de soporte de perfiles de madera en dos direcciones. Las delgas están separadas entre sí de forma que dejan una pequeña junta abierta para que el agua de lluvia caiga al interior de la cámara ventilada de la cubierta, donde es recogida por las láminas impermeables.

Al incorporar los árboles existentes a la terraza parece como si estuviera sobre el terreno. El sombreado de los árboles protege la cubierta de la radiación solar directa y la cámara ventilada protege al edificio del efecto de la radiación solar. El pavimento de la terraza se calienta por efecto de la radiación, que se disipa hacia al exterior y hacia la cámara ventilada, que está a una temperatura inferior a la del pavimento. Por debajo de la losa de la cubierta se dispone el aislamiento térmico.

El perímetro interior de la terraza resuelve varias funciones. Un canalón perimetral de gran sección recoge el agua de lluvia y la vierte en unas gárgolas, que dejan caer libremente el agua sobre el patio. La caída libre del agua es una atracción para los niños.

El diseño de la barandilla perimetral de la terraza también tiene interés. En el borde de la terraza no existe ningún zócalo, para que los niños pueden sentarse dejando colgar las piernas sobre el canalón perimetral. Así pueden ver y participar cómodamente de las actividades que se realizan en el patio central. Para asegurar el uso de la terraza y del perímetro frente a

caídas, la barandilla está formada por barrotes verticales de acero, que permiten la vista del patio inferior, separados a una distancia que tan sólo dejan pasar las piernas.

## **18. La cubierta de chapa metálica**

Palacio de Justicia. Estrasburgo, 2014

Arquitectos: Garcés-De Seta-Bonet y Serra-Vives-Cartagena

### **El edificio**

El proyecto del edificio ganó el concurso internacional para la rehabilitación y ampliación del Palacio de Justicia de la ciudad de Estrasburgo. El edificio original fue construido a finales del siglo XIX al estilo del Imperio Alemán, que entonces ocupaba la ciudad. En 1978, se amplió el Palacio con la adición de una planta rematada por una cubierta de chapa metálica; pero el edificio no satisfacía las necesidades funcionales y había que rehabilitarlo por completo, de acuerdo con las necesidades técnicas actuales.

El proyecto se propone resolver la ordenación funcional de las salas de audiencia y de los servicios administrativos necesarios, para lo cual se construye un nuevo cuerpo central y un volumen edificado sobre la cubierta original. Desde el exterior del Palacio, la ampliación más visible es la nueva cubierta de las salas. El edificio recupera las fachadas neoclásicas originales. La ampliación relaciona la arquitectura neoclásica del Palacio con el lenguaje contemporáneo de la cubierta, y recupera para la ciudad su valor patrimonial.

### **La nueva cubierta**

La primera actuación sobre la cubierta existente fue el derribo de la planta añadida al Palacio, que ha recuperado así la composición original de la fachada. La siguiente actuación fue la construcción de un gran volumen de cubierta, que contiene la ampliación de las nuevas salas y dependencias auxiliares.

El volumen de la cubierta está limitado por un perímetro vertical de fachada de 2 m de altura, a modo de base, que se retranquea 2 m del plano de las fachadas de Palacio, con el fin de conservar la forma neoclásica original del edificio. A partir de esa altura, emergen los planos inclinados de las cubiertas. Todo el nuevo volumen de fachada y cubierta está acabado con el mismo material y construido con la misma técnica.

Las alturas de la cubierta son variables, van desde los 8 m de los volúmenes de dos plantas de altura, a los 13 m de las cubiertas de las salas de audiencia. La altura de los espacios situados en el perímetro del edificio es diferente, de modo que, para mantener constante la pendiente de los faldones exteriores de la cubierta, la línea de intersección de los planos de cubierta en la cumbrera es inclinada y en diagonal con respecto a la planta. Los diferentes volúmenes son el resultado de las características espaciales de las salas de audiencia de mayor altura libre, con iluminación cenital, y de los espacios más reducidos, destina-



dos a despachos, iluminados por ventanas en la cubierta. Estas soluciones geométricas y constructivas permiten que la cubierta adopte una imagen contemporánea, mediante el lenguaje de la arquitectura moderna.

La versatilidad funcional y geométrica de las chapas metálicas muestra su capacidad de resolver las geometrías complejas de las cubiertas del Palacio, que manifiestan la variedad de los espacios que contiene. Tres volúmenes a dos aguas recorren el perímetro del edificio, el patio central y la sala de los pasos perdidos. Y cuatro grandes pirámides truncadas, en el interior del Palacio, iluminan con amplios lucernarios planos el techo de las grandes salas. Las pirámides están situadas una junto a otra y tienen diferentes medidas en función del tamaño de las salas.

En la sección transversal de las pirámides, los planos inclinados de las cubiertas siguen una línea quebrada a modo de onda. En las crestas de la onda, se sitúan los lucernarios a diferentes alturas y, en los valles, se sitúan los canalones de recogida de las aguas que descienden por los faldones de las cubiertas. Para mantener el aspecto continuo del revestimiento de chapa metálica en el encuentro entre los planos de la cubierta y fachada, los canalones de recogida de agua quedan ocultos.

La estructura de la nueva cubierta está formada por pórticos paralelos de perfilería de acero laminado, cuyas directrices varían para ajustarse a las secciones variables de la cubierta. Los perfiles vienen mecanizados de taller y se unen en la obra mediante tornillos.

La solución constructiva del tramo general de cubierta no es sencilla, porque es una cubierta ligera que no cuenta con las ventajas de tener un soporte pesado, que facilitaría su aislamiento del ruido exterior, estanqueidad y resistencia al fuego, entre otras prestaciones. La solución ha sido la superposición de capas de materiales especializados, de características físicas diferentes, que en conjunto cumplen con los exigentes requisitos de seguridad y aislamiento de las salas de audiencia. Así, sobre la estructura se dispone una sección constructiva que alterna tableros de madera, chapa de acero y placas de yeso laminado, con materiales de aislamiento térmico, acústico y frente al fuego.

### **La chapa metálica**

La chapa de acero de la cubierta es de un color metálico gris claro, que refleja la luz tamizada habitual en la ciudad de Estrasburgo. El efecto de la luz reflejada hace más ligera la imagen del gran volumen de la cubierta.

Se ha utilizado chapa de acero inoxidable ferrítico AISI 441 estabilizado con niobio y titanio, puesto que proporciona una buena resistencia mecánica y de durabilidad ante la corrosión. Las planchas de chapa se conforman en la propia obra mediante una plegadora, en forma de bandejas de la misma longitud de los faldones de cada cubierta. Se montan mediante juntas alzadas, fijadas a patillas ocultas, que permiten la libre dilatación de las chapas. Como la chapa de acero no es un material fácilmente maleable en obra, las uniones entre ellas son ejecutadas mediante una máquina de engrafar que trabaja las chapas a una temperatura de 180°, para facilitar el doblado de la chapa y cerrar la unión entre ellas de forma totalmente estanca.

## Epílogo

Como hemos podido ver en los casos analizados, la construcción no sólo resuelve problemas de su propio ámbito; también tiene la capacidad de proponer ideas que conducen a la solución formal y compositiva del proyecto, a darle credibilidad material.

Los argumentos presentados no buscan dar una concepción determinista entre ambos conceptos, pero sí presentar la construcción como parte integrante del proyecto. En el escenario de la arquitectura contemporánea, la concepción técnica es cada vez más compleja, por lo que el conocimiento de la construcción es necesario para sugerir y desarrollar las ideas del proyecto.

En definitiva, la construcción no es tan sólo un conocimiento y una experiencia capaces de resolver problemas; para el arquitecto es un instrumento básico de su oficio.





## Bibliografía

Per a l'estudi i l'anàlisi dels projectes que es presenten en aquesta publicació, s'ha consultat una gran diversitat de fonts, que inclouen llibres, revistes i webs especialitzades. Les referències principals dels llibres i de les revistes on es pot trobar més informació sobre cada cas són:

- Buchanan, P; Piano, R. (1993). *Renzo Piano Building Workshop: 1989-2010*, vol. 3. Londres: Phaidon.
- Davies, Colin (1993). Hopkins: *The Work of Michael Hopkins and Partners*. Londres: Phaidon.
- García-Setién, Diego (2009). "Torre Mediapro en Barcelona". *Tectónica*, vol. 29, p. 30-45.
- Hubert, Bruno J. (1992). Louis I. Khan: *Le Yale Center for British Art*. Marsella: Parenthèses.
- Krinsky, Carol H. (1998). *Gordon Bunshaft of Skidmore, Owings & Merrill*. Nova York: The MIT Press.
- Moneo, Rafael (2010). *Rafael Moneo: apuntes sobre 21 obras*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Murcutt, Glenn (2012). "Casa Marie Short/Casa Glenn Murcutt". *Croquis*, vol. 163/164, p. 48-73.
- Paricio, Ignacio (2000). *La fachada de ladrillo*. Saragossa: Bisagra.
- Pettena, Gianni (1999). *Casa Malaparte Capri*. Florència: Le Lettere.
- Siza, Álvaro (1997). *Álvaro Siza: 1954-1976*. Lisboa: Blau.
- Staib, Gerald (2008). *Components and Systems: Modular Construction, Design, Structure, New Technologies*. Basilea; Boston: Birkhauser.
- Stonehouse, Roger (1989). "Scholarly Solution. Queen Mary College Library". *AJ The Architect's Journal*, 17 de maig de 1989, p. 54-57
- Tezuka T.; Tezuka, Y. (2009). *Tezuka Architecture Catalogue 2*. Tòquio: TOTO.
- Varela, Álvaro; Yokota, Leo (2007). "Crematorio en Kakamigahara". *Tectónica*, vol. 25, p. 26-35.



Hi ha més informació d'interès a les pàgines webs d'arquitectura i dels propis autors dels projectes següents:

- [archdaily.com](http://archdaily.com)
- [detail-online.com](http://detail-online.com)
- [dietz-joppien.de](http://dietz-joppien.de)
- [elcroquis.es](http://elcroquis.es)
- [garces-deseta-bonet.com](http://garces-deseta-bonet.com)
- [hicarquitectura.com](http://hicarquitectura.com)
- [plataformaarquitectura.cl](http://plataformaarquitectura.cl)
- [ruedapizarro.es](http://ruedapizarro.es)
- [studiomk27.com.br](http://studiomk27.com.br)
- [tectonica.es](http://tectonica.es)



