

L'EDIFICI DE COHABITATGE CIRERERS, UN EXERCICI D'ECOLOGIA COMUNITÀRIA

David Fernández Gutiérrez,¹ Diego Carrillo Messa² i Jorge Blasco Miguel³

1. Enginyer industrial de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Celobert Cooperativa. david@celobert.coop

2. Arquitecte de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Celobert Cooperativa.

3. Arquitecte diplomad universitari de postgrau en arquitectura legal i forense i membre de l'Associació de Consultors d'Estructures

Resum: El projecte de l'edifici Cirerers inicia a principis del 2020 la construcció de trenta-dos habitatges i espais comunitaris. Durant dos anys intensos de treball col·lectiu amb les futures unitats de convivència que hi viuran s'ha definit el projecte arquitectònic i l'encaix del model de convivència.

L'edifici se situa a la plaça de les Dones de Nou Barris, al barri de Roquetes. Amb vuit plantes, és l'immoble més alt de l'Estat construït amb fusta. L'edifici serà passiu, perquè tindrà una demanda energètica mínima pel que fa a la climatització i a la producció d'aigua calenta, i serà ecològic, perquè s'utilitzaran materials preferentment orgànics amb una petjada ecològica mínima.

Paraules clau: cohabitatge, comunitat, energia, ecologia, fusta, arquitectura.

THE CIRERERS COHOUSING BUILDING, AN EXERCISE IN COMMUNITY ECOLOGY

Abstract: The Cirerers building project began in early 2020 with the construction of its 32 apartments and community spaces. During two intense years of joint work with the future inhabitants, the architectural project and the fit of the coexistence model have been defined.

The building is located at Les Dones de Nou Barris Square in Barcelona's Roquetes neighborhood. With its eight floors, it is Spain's tallest wooden building. This will be a passive structure because it will have a minimum energy demand in terms of air conditioning and hot water production, and it will be environmentally friendly because organic materials with a minimum ecological footprint will preferably be used.

Keywords: cohousing, community, energy, ecology, wood, architecture.

1. Introducció

Aquest 2021 s'acabaran les obres de l'edifici Cirerers, un immoble de cohabitatge per a trenta-dues unitats de convivència, dissenyat amb estàndards Passivhaus (en català, 'casa passiva'; estàndard de construcció d'edificis energèticament eficients) i que serà la construcció de fusta més alta de l'Estat.

És un projecte innovador, principalment, per tres aspectes:

1. Per la tipologia arquitectònica de cohabitatge, resultat d'un procés de codisseny i cogestió.
2. Per la baixa demanda energètica, ja que segueix l'estàndard Passivhaus.
3. Per l'ús de materials ecològics, en particular, l'estructura de fusta.

2. Tipologia arquitectònica de cohabitatge i procés de codisseny

Un edifici de cohabitatge té dues particularitats clau a l'hora de plantejar-ne el disseny arquitectònic:

1. És un projecte que parteix d'una lògica comunitària, que va més enllà de satisfer només les necessitats individuals d'habitatge. Aquesta dimensió comunitària requereix uns espais específics, més enllà de l'espai privat (el «pis») i dels espais comuns de circulació.

2. Les futures habitants de l'edifici participen en el procés de disseny des de l'inici del projecte fins al final de l'obra. I l'equip tècnic té la responsabilitat de facilitar que el grup prengui les decisions de manera adequada a mesura que avança el procés.

Ambdós aspectes no segueixen els estàndards habituals i requereixen un seguit d'habilitats que els equips tècnics tenim la responsabilitat d'adquirir.

El projecte «Cirerers» sorgeix en el marc d'un concurs de solars per a cohabitatge que publica l'Ajuntament de Barcelona l'any 2016. La cooperativa d'habitatges Sostre Cívic encarrega a Celobert Cooperativa l'acompanyament per a l'elaboració de la proposta arquitectònica, que, finalment, és la guanyadora del concurs. La figura 1 mostra una representació gràfica inclosa en la documentació presentada al concurs.



FIGURA 1. Imatge en 3D de l'edifici Cirerers en fase de concurs (2017).
FONT: Celobert Cooperativa.



FIGURA 2. Emplaçament de l'edifici.
FONT: Celobert Cooperativa.

El projecte «Cirerers» és un edifici comunitari de vuit plantes d'alçària (planta baixa més set pisos), que, un cop finalitzades les obres, allotjarà trenta-dues unitats de convivència. Un total de 2.700 m², construïts en un solar públic de 430 m². L'arquitectura d'aquest edifici respon a una aposta col·lectiva amb uns principis i valors que són fruit d'un procés participatiu entre les futures usuàries i l'equip tècnic del projecte.

Es planteja un projecte que no tan sols ha de donar resposta a les necessitats de les usuàries, sinó que també ha d'aportar valor a l'entorn urbà que l'envolta. D'altra banda, es combinen espais col·lectius amb espais privatis, de manera que la casa és tot l'edifici, amb l'objectiu de fer comunitat. Aquests dos compromisos amb la ciutat i amb la comunitat, així com els ajustaments necessaris que s'han hagut de fer per assegurar la viabilitat econòmica del projecte, s'expliquen de manera més detallada en els apartats següents.

2.1. L'aportació al barri i al territori

L'edifici com a tal, a part dels valors associats al fet de ser un edifici de cohabitatge, es concep des d'una lògica d'aportació social, ambiental i urbanística al territori, principalment, a través de:

1. Aportar habitatge social i de protecció oficial al barri, en un sòl públic i de promoció cooperativa, seguint el model de cessió d'ús, cosa que en garanteix l'ús social al llarg de les generacions futures.
2. Plantejar un edifici 100% compromès amb el medi ambient i amb la lluita contra el canvi climàtic, mitjançant tres estratègies que es desenvolupen més a fons més endavant en aquest article:
 - Una demanda energètica molt baixa.
 - Una petjada ecològica mínima.
 - Instal·lacions renovables i eficients.
3. Proposar una solució de projecte arquitectònic amb vocació de projecte urbà, basat en la idea de fer de ròtula entre teixits urbans.



FIGURA 3. La façana sud-oest de l'edifici i l'entorn urbà directament relacionat.
FONT: Celobert Cooperativa.

Pel que fa a aquest darrer punt, el projecte es planteja com una peça urbana, indicada de color taronja a la figura 2, que facilita l'articulació entre un teixit de casa familiar entre mitgeres de planta baixa més dos pisos, situat a l'oest de la parcel·la —a l'esquerra de la figura 2—, i un teixit d'edifici massiu de planta baixa més cinc pisos i amb un llenguatge més contemporani, situat a l'est —a la dreta de la figura 2.

D'altra banda, i amb el mateix objectiu d'integració paisatgística, el projecte vetlla per mantenir la silueta urbana de planta baixa més dos pisos que domina tota la façana del carrer del Pla dels Cirerers i resol les cinc plantes que té per sobre sense cap mitgera vista i a través d'un esglaonament que s'adapta a la topografia del terreny, tal com mostra la figura 3.

2.2. La casa és tot l'edifici: espais col·lectius versus espais privatis

Els espais que estructuraven un edifici de cohabitatge són els espais col·lectius i d'ús comunitari. Aquest són els que donen sentit i identitat al projecte social, i esdevenen l'element central del procés de codisseny arquitectònic. En el

cas del projecte «Cirerers» es plantegen quatre tipus d'espais, que es defineixen pel grau d'obertura i de vincle amb allò comunitari.

2.2.1. Espais oberts al barri: taller escola de cuina i restauració

La part de la planta baixa de l'edifici més oberta a la plaça i al carrer se situa a la cantonada sud-est de l'edifici. En aquests espais, el col·lectiu hi ha decidit allotjar un taller escola de cuina i restauració destinat a la formació de dones del barri. La comunitat aposta, així, per vincular la comunitat amb les necessitats del barri i per oferir noves oportunitats d'orientació laboral.

2.2.2. Espais d'ús comunitari

Els espais restants de planta baixa es destinen de manera íntegra a usos compartits de la comunitat, formada per les trenta-dues unitats de convivència. Els usos que la comunitat ha decidit donar a aquests espais són els que es representen a la figura 4:

— Aparcament de bicicletes. S'aposta per un vestíbul d'entrada de dimensions àmplies per a allotjar-hi bicicletes i que sigui distribuïdor d'accés a les diferents estances de la planta baixa.

— Taller i magatzem de reparació. Local de la planta baixa destinat a l'emmagatzematge i a taller d'eines i de bricolatge, i amb accés directe des del carrer del Pla dels Cirerers.

— Espai de treball i biblioteca. Espai situat a la part interior de la planta baixa, oberta cap al pati d'illa, amb la funció d'esdevenir espai de silenci, de cotreball i d'estudi.

— Sala polivalent i d'usos múltiples, situada també a la planta baixa i amb accés directe des de la plaça de les

Dones de Nou Barris. Es planteja com una zona de la comunitat oberta a l'espai públic de la plaça i facilitadora de llocs de relació amb l'exterior.

— Espais exteriors comunitaris situats a les cobertes de les plantes tercera, sisena i setena, destinats a usos polivalents, com ara activitats lúdiques (planta tercera), menjador comunitari a l'aire lliure (planta sisena) i l'hort (planta setena).

2.2.3. Espais intermedis d'ús col·lectiu: els carrers replà

El projecte preveu un tipus d'espai col·lectiu intermedi, que no és ni 100 % privatiu, ni 100 % comunitari. És un espai exterior cobert d'uns 40 m² situat a cada planta i que hem anomenat *carrer replà*: des d'aquí s'accedeix als habitatges i l'espai esdevé una sala compartida per les veïnes de cada replà. Aquestes àrees, que tenen vocació d'espais d'expansió dels habitatges i de relació entre les veïnes, allotjaran la zona de bugaderia compartida de cada planta, amb rentadora i estenedor.

2.2.4. Espais d'ús privatiu: els habitatges

Finalment, arribem als trenta-dos espais d'ús privatiu: els habitatges. Aquests espais són els d'ús exclusiu per a cada unitat de convivència. Més de dos terços d'aquests habitatges estan plantejats com a *loft* i tenen una superfície de 40 m², que és el mínim que estableix la normativa vigent.

A part, però, tots els habitatges disposen de 40 m² més de carrer replà, de més de 180 m² d'ús comunitari a la planta baixa i de més de 170 m² de coberta exterior, també comunitària.

És per això que la casa és tot l'edifici i no tan sols l'habitatge privatiu.

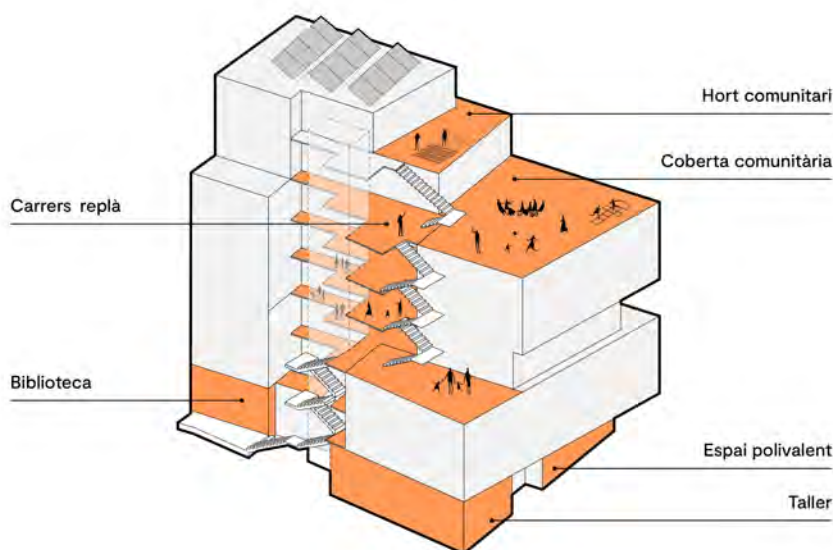


FIGURA 4. Axonometria de l'edifici que n'indica els usos principals.
FONT: Celobert Cooperativa.

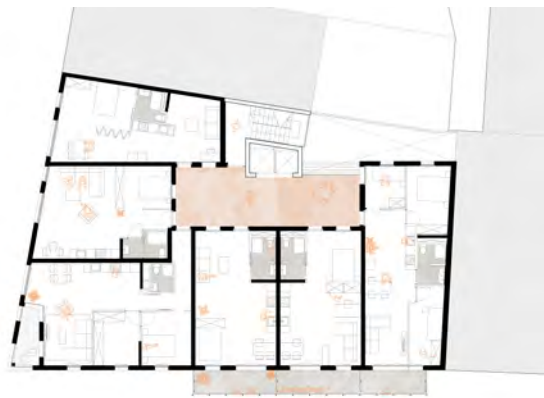


FIGURA 5. Dibuix en planta dels pisos primer i segon de l'edifici.
FONT: Celobert Cooperativa.

A la figura 5 es mostra el cas de les plantes primera i segona, on la zona taronja correspon al carrer replà i les àrees delimitades per la línia negra gruixuda, als sis habitatges de la planta.

2.3. Ajustaments necessaris per a la viabilitat econòmica del projecte

Des del concurs d'idees del 2016 fins al projecte finalment executat el 2021, s'han pres unes quantes decisions estratègiques orientades a fer els habitatges més assequibles des del punt de vista econòmic.

Inicialment, el projecte del concurs preveia vint-i-set habitatges, distribuïts en sis plantes, 170 m² d'espais comunitaris, 270 m² de locals per al barri a la planta baixa i un soterrani destinat a aparcament. El pressupost d'execució de materials (PEM) del projecte se situava per sobre dels 3,3 milions d'euros i calia reduir-lo mig milió d'euros.

Les mesures que el grup d'usuàries va prendre per aconseguir l'objectiu van ser:

2.3.1. Eliminar la planta soterrani d'aparcament

En un inici, el grup va decidir fer una planta soterrani per aparcar-hi vehicles; el sobrecost de fer l'aparcament estava justificat i s'estimava assumible. Un cop valorat l'estudi geotècnic i els sobrecostos reals de l'execució del projecte, el grup va decidir renunciar a l'aparcament soterrat, cosa que va permetre reduir uns 0,2 milions d'euros les despeses del projecte.

2.3.2. Optimitzar i simplificar el sistema constructiu

El segon paquet de mesures s'associa a optimitzar i simplificar les solucions constructives inicialment plantejades, la qual cosa va suposar una reducció de costos d'uns 0,3 milions d'euros:

- Es va reduir la complexitat del projecte des d'un punt de vista estructural, de manera que es van minimitzar els elements d'estructura metàl·lica. El grup va decidir preservar l'estructura principal de fusta pel compromís amb l'ecologia, malgrat que hi havia solucions més econòmiques, tal com s'explicarà més endavant.

- Es va simplificar la solució constructiva de les façanes exteriors i de l'ascensor, i es va optar per solucions més econòmiques, però amb les mateixes característiques d'aïllament tèrmic. Es va substituir la fibra de fusta per la llana de roca i un mur cortina amb sistema d'aïllament tèrmic exterior (SATE).

- Es van simplificar molt les proteccions solars, de manera que es van eliminar les que no eren imprescindibles i es van substituir les persianes orientables i motoritzades per persianes alacantines d'accionament manual.

- Es van simplificar els acabats dels interiors, tant dels habitatges com dels espais comunitaris, i es va prescindir d'allò que no era necessari i que pogués ser incorporat o millorat posteriorment.

2.3.3. Augmentar el nombre d'habitatges de vint-i-set unitats de convivència a trenta-dues

La tercera mesura presa fou augmentar el nombre d'habitatges de vint-i-set unitats de convivència a trenta-dues, per tal de repartir les despeses globals entre més unitats de convivència i, alhora, allotjar més persones demanants d'habitatge protegit. Les decisions associades a aquesta mesura que el grup va haver de prendre van ser les següents:

- Reduir la superfície interior mitjana dels espais d'ús privat (habitatges), partint de la lògica que els espais comunitaris i col·lectius també formen part de l'habitatge i eixamplen el que és estrictament la part d'ús privat.

- Canviar la ubicació dels espais d'ús comunitari i desplaçar-los a la planta baixa. D'aquesta manera, s'allibera superfície a les plantes superiors per ubicar-hi habitatges i s'aposta per uns espais d'ús comunitari més relacionats amb el carrer, la plaça i el barri. Els espais de carrer replà sí que es mantenen, ja que tenen una lògica associada a cadascuna de les plantes i no al conjunt de la cooperativa.

- Reduir la superfície dels locals de planta baixa per tal d'ubicar-hi els espais d'ús comunitari, prèviament situats a les plantes superiors. Aquest canvi implica que s'ofereix al barri un espai de menys dimensions, però la cooperativa s'exposa menys al risc econòmic davant l'eventualitat de no trobar persones llogateres.

Aquestes tres mesures es plantegen com una estratègia que pot ser temporal, només dels primers anys de vida de l'edifici, que són els més difícils de sostenir des d'un punt de vista financer. Més endavant, es podrien reconvertir espais privats en espais comunitaris i alliberar de nou espai de planta baixa per a altres usos comunitaris i/o oberts al barri.

3. Un edifici d'habitatges sostenible: baixa demanda energètica, seguint l'estàndard Passivhaus

Un dels principals valors del projecte és el compromís amb el medi ambient. L'edifici Cirerers fa front a la lluita contra el canvi climàtic mitjançant diferents estratègies, que el converteixen en un edifici bastant diferent respecte del que s'acostuma a fer en la construcció tradicional. L'estratègia principal respon a la premissa que la millor energia, en termes mediambientals, és la que no es consumeix.

Per tal que un edifici tingui una demanda energètica molt baixa ha d'estar pensat de manera que necessiti el mínim d'energia suplementària per tenir confort tèrmic durant tot l'any. És l'arquitectura de l'edifici (la forma, les obertures i la construcció) la que ho determina.

L'edifici Cirerers s'ha dissenyat per assolir un nivell d'eficiència de casa passiva, o edifici de consum d'energia gairebé zero (nZEB, de l'anglès *nearly zero energy building*), que va més enllà del que exigeix la normativa d'estalvi energètic, i segueix els criteris de construcció en què es basa l'estàndard Passivhaus (l'estàndard d'origen alemany d'optimització energètica per a la construcció d'edificis). En comparació de la normativa actual, que és la més exigent aplicada fins ara en edificis de nova construcció al territori espanyol en termes d'eficiència energètica, s'assoleix

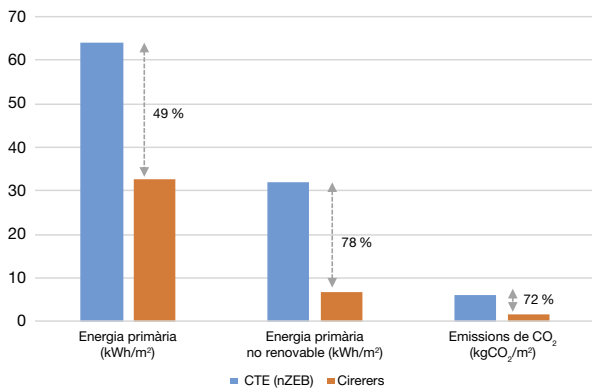


FIGURA 6. Comparativa energètica entre el consum de l'edifici Cirerers i els valors que estableix el codi tècnic de l'edificació (CTE) per a edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB).

FONT: Celobert Cooperativa.



Figura 7. Secció esquemàtica de l'edifici amb aspectes clau de sostenibilitat. FONT: Celobert Cooperativa.

un estalvi de fins al 72% de les emissions de diòxid de carboni (CO₂), tal com mostra el gràfic de la figura 6.

En els apartats següents s'expliquen els aspectes clau que s'han aplicat per aconseguir reduir les demandes energètiques de calefacció i refrigeració, i d'aigua calenta sanitària (ACS), que bàsicament són quatre, representats de manera simbòlica a la figura 7:

1. Minimitzar i aïllar bé l'envolupant de l'edifici.
2. Reduir les infiltracions d'aire amb un alt nivell d'estanquitat.
3. Tenir elements de control solar i ventilació natural.
4. Disposar d'instal·lacions eficients que aprofitin energies renovables.

3.1. Compacitat i aïllament

El disseny de l'edifici ha tingut en compte que el volum habitable que s'ha de climatitzar tingui el mínim de superfície en contacte amb l'exterior (l'anomenada *compacitat de l'edifici*, representada gràficament a la figura 8). La relació de compacitat favorable, resultat de dividir l'àrea total de l'envolupant entre el volum interior (A/V), ha de ser menor o igual que 0,7 m²/m³. En el cas de l'edifici Cirerers, de set plantes, hi ha una compacitat de 0,46 m²/m³.

D'altra banda, aquesta envolupant ha de tenir un bon aïllament tèrmic. Seguint criteris de confort tèrmic molt alt, és a dir, temperatures interiors d'entre 20 °C i 25 °C, amb demandes tèrmiques properes a 15 kWh/(m² any), s'ha arribat a la composició de les façanes i dels sostres en contacte amb l'exterior que es descriu a la taula 1.

TAULA 1
Característiques dels aïllaments de l'envolupant de l'edifici

	Gruix de la fusta laminada encreuada (CLT) (mm)	Gruix de la llana de roca (mm)
Façanes exteriors	120-160	80-120
Sostres en contacte amb l'exterior	180-220	180-225

FONT: Celobert Cooperativa.

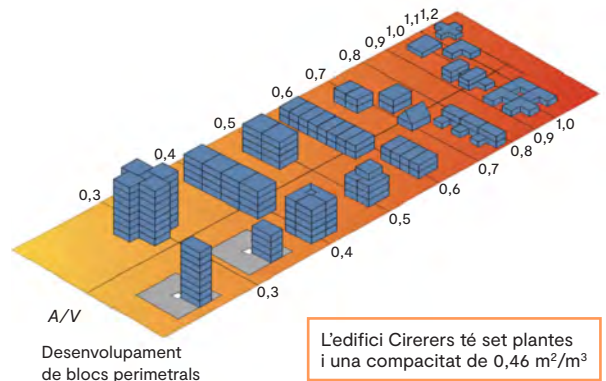


FIGURA 8. Gràfic explicatiu de la relació de compacitat (A/V). FONT: International Passive House Association, adaptat per Celobert Cooperativa.

A la taula 2 es mostra un càlcul comparatiu d'un dels murs de l'edifici amb una façana equivalent en què, en lloc de fusta, s'utilitzen maons ceràmics, tenint en compte totes les capes de materials segons els gruixos i la conductivitat tèrmica: λ [W/(mK)]. La conductivitat tèrmica és una propietat física dels materials que mesura la capacitat de conducció de calor i és un dels tres mètodes de transferència de calor; els altres dos són la convecció i la radiació. Com més gran sigui la conductivitat tèrmica d'un material, més bon conductor de calor serà. Com més petita, el material serà més aïllant. Podem veure quin gruix d'aïllament caldria en aquest segon cas per arribar al mateix nivell d'aïllament, és a dir, al mateix valor de transmitància tèrmica: U [W/(m²K)]. La transmitància tèrmica és la mesura de la calor que flueix per unitat de temps i superfície a través d'un sistema constructiu, format per una capa de mate-

rial o més, de cares planes i paral·leles, quan hi ha un gradient tèrmic d'1 °C (o 1 °K) de temperatura entre els dos ambients que separa.

Per tant, emprant materials com ara la fusta, amb propietats aïllants per a fer tancaments i estructura, aconseguim millorar l'aïllament de l'edifici i reduir la necessitat d'afegir-hi altres elements aïllants. En el cas analitzat a les taules anteriors, es veu un estalvi de gruix d'aïllament de 33 mm, que, en termes econòmics, tenint en compte tota la superfície d'envolupant de l'edifici, equivaldria a un estalvi de vint-i-un mil euros.

TAULA 2

Càlcul comparatiu de transmitància tèrmica d'una solució constructiva de façana amb fusta i amb maó ceràmic

FUSTA				
Material	λ [W/(mK)]	Gruix [mm]	R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² K)]
Resistència superficial interior (R_{si})			0,130	
Morter de calç	0,400	10	0,025	
Aïllament	0,040	40	1,000	
Tauler d'encenalls orientats (OSB)	0,130	15	0,115	
Aïllament	0,070	80	1,143	
Fusta CLT	0,130	140	1,077	
Resistència superficial exterior (R_{se})			0,040	
TOTAL estat inicial		285	3,530	0,28

MAÓ CERÀMIC				
Material	λ [W/(mK)]	Gruix [mm]	R [(m ² K)/W]	U [W/(m ² K)]
Resistència superficial interior (R_{si})			0,130	
Morter de calç	0,400	10	0,025	
Aïllament	0,040	40	1,000	
Tauler d'encenalls orientats (OSB)	0,130	15	0,115	
Aïllament	0,070	80	1,143	
Maó ceràmic	0,667	135	0,202	
Guix	0,250	15	0,060	
Resistència superficial exterior (R_{se})			0,040	
TOTAL estat inicial		295	2,716	0,37

Capes extres de la intervenció:				
Aïllament EXTRA	0,040	33	0,825	

TOTAL amb aïllament extra	328	3,541	0,28	
----------------------------------	-----	-------	-------------	--

FONT: Celobert Cooperativa.

3.2. Alt nivell d'estanquitat

L'edifici Cirerers s'ha dissenyat per tal que els habitatges arribin a un nivell d'estanquitat molt alt, tenint una cura especial de l'anomenada *línia d'estanquitat*, que implica que tota l'envolupant disposa d'una solució que evita les infiltracions d'aire no desitjades. Es preveu arribar a un valor d'estanquitat alt, segons els valors indicats a la taula 3 sobre la taxa d'infiltració n50, que indica les renovacions/hora a una diferència de pressió de 50 Pa, un valor que equival, aproximadament, a una velocitat del vent de 30 km/h. Concretament, en el cas de l'edifici Cirerers, s'espera arribar a un nivell d'estanquitat per sota d'1,7 renovacions/hora a una diferència de pressió de 50 Pa ($n50 \leq 1,7$ renovacions/h). També s'ha previst que les cuines puguin fer servir dos sistemes d'extracció de fums diferents:

- El de recirculació (més eficient i estanc, perquè no expulsarà l'aire a l'exterior), amb campana extractora amb filtres de carboni o de plasma. Aquest és el que funcionarà per defecte.

- El d'extracció (el que és obligatori per normativa), mitjançant la campana convencional, que expulsarà fums a l'exterior, amb la pèrdua d'estanquitat consegüent.

3.3. Elements de control solar i ventilació natural

La geometria de l'edifici, les dimensions i la posició de les obertures de les façanes han estat dissenyades per protegir l'edifici de les entrades de sol a l'estiu i per aprofitar-les a l'hivern, i així afavorir l'entrada de llum natural i minimitzar les pèrdues tèrmiques.

TAULA 3

Valors n50 (1/h) per als diferents nivells d'estanquitat

Nivell d'estanquitat de l'edifici	Edifici unifamiliar	Edifici plurifamiliar o terciari
Alt	Inferior a 4	Inferior a 2
Mitjà	De 4 a 10	De 2 a 5
Baix	Superior a 10	Superior a 5

FONT: Celobert Cooperativa, adaptat de l'annex F de l'estàndard prEN ISO 13790:1999.

Els elements de voladís, com ara els balcons de les faneganes sud i est, i la posició de les persianes alacantines exteriors són fonamentals per a controlar la radiació solar i s'han dissenyat sobre la base de la simulació d'ombres de tota l'envolupant.

Adicionalment, la disposició d'obertures en bandes oposades dins de cada habitatge permet una ventilació natural correcta, així com aprofitar aquesta estratègia per a regular tèrmicament l'habitatge.

3.4. Instal·lacions eficients aprofitant energies renovables

Tots els edificis necessiten energia per a escalfar l'aigua, cuinar, il·luminar, fer ús d'electrodomèstics i ventiladors, i, en alguns casos, també per a millorar el confort del clima interior. Les instal·lacions que aporten aquest confort han de ser el màxim d'eficients i prioritzar l'ús d'energies renovables.

En el cas de l'edifici Cirerers s'han dut terme les instal·lacions següents.

3.4.1. Ventilació mecànica controlada dels habitatges

A més de ventilació natural, tots els habitatges disposen d'un sistema de ventilació mecànica controlada (VMC). Aquest sistema permet renovar, de manera constant, l'aire



FIGURA 9. Esquema d'instal·lació de la climatització aprofitant la VMC, a través d'una bateria de tractament de l'aire connectada al sistema centralitzat d'energia aerotèrmica per a produir fred i calor.

FONT: Celobert Cooperativa.



FIGURA 10. Comparativa entre l'energia necessària per a cobrir la demanda d'ACS del sistema centralitzat d'energia aerotèrmica de l'edifici Cirerers i un sistema estàndard d'energia solar tèrmica amb caldera.

FONT: Celobert Cooperativa.

de totes les estances dels habitatges, cosa que minimitza les pèrdues tèrmiques i evita que s'hagin d'obrir les finestres. La figura 9 representa els elements que configuren el sistema.

Un recuperador de calor (1) aprofita l'energia tèrmica de l'aire abans que sigui expulsat per a renovar-se. Els ventiladors del recuperador mouen l'aire en dos sentits diferents: un, per extreure l'aire humit i amb males olors cap a l'exterior, i l'altre, per deixar-ne entrar de nou prèviament filtrat i temperat.

Per treure el màxim rendiment d'aquest sistema de ventilació, s'incorpora una bateria (2) al recuperador de cada habitatge, que permet augmentar o reduir la temperatura d'aquest aire, aprofitant el sistema centralitzat d'energia aerotèrmica descrit a continuació.

3.4.2. Sistema centralitzat d'energia aerotèrmica per a produir fred i calor

La producció de fred i calor de tot l'edifici es fa mitjançant l'anomenada *energia aerotèrmica*: amb unes bombes de calor d'alt rendiment i amb uns acumuladors centralitzats, on s'emmagatzema l'energia en forma d'aigua escalfada o refredada. Tot aquest sistema se situa a la coberta de la planta setena de l'edifici. Hi ha tres acumuladors, cadascun dels quals té la funció següent:

- Emmagatzemar l'ACS que es distribueix per canonades a tots els punts de consum dels habitatges.
- Fer el tractament antilegionel·la de l'ACS (acumulador més petit).
- Emmagatzemar aigua freda o calenta, que serveix per a refrigerar (a l'estiu) o calefactar (a l'hivern) l'aire del sistema de ventilació dels habitatges, a través de les bateries descrites en el punt anterior.

3.4.3. Energia solar fotovoltaica per a produir electricitat

A la coberta de la planta setena també es disposa de zones de captació solar per a produir electricitat per a l'autoconsum, amb un camp de plaques fotovoltaïques d'uns 8 kWp.

La combinació del sistema centralitzat d'energia aerotèrmica amb el sistema fotovoltaic permet reduir d'un 47% el consum d'energia primària no renovable per a generar tota l'ACS de l'edifici, o bé un 61% les emissions de CO₂, en comparació amb un sistema estàndard d'energia solar tèrmica amb calderes de gas convencionals, tal com mostra la figura 10.

4. Ús de materials ecològics, en particular, l'estructura de fusta

Que un edifici tingui la mínima petjada ecològica vol dir que està pensat per tal que el cost ambiental del procés



Fusta laminada encreuada



Morter de calç



Plaques de guix laminat



Llana de roca



Construcció en sec

FIGURA 11. Principals materials emprats.
FONT: Celobert Cooperativa.

constructiu de l'edifici sigui mínim. Per a aconseguir-ho, cal construir, preferentment, amb materials naturals o reciclats, o que requereixin una energia mínima per a la seva fabricació i transport. La posada en obra ha de minimitzar els residus i les emissions de CO₂, i també s'ha de preveure un reciclatge orientat al cost energètic i ambiental mínim en el moment en què el material quedi obsolet.

4.1. Materials ecològics emprats

En el cas de l'edifici Cirerers, els principals materials constructius utilitzats són els que es representen a la figura 11 i que s'expliquen a continuació.

4.1.1. Fusta laminada encreuada

La fusta laminada encreuada (CLT, de l'anglès *cross-laminated timber*), en aquest cas, prové d'Àustria i s'aplica a l'estructura i als tancaments de façana de tot l'edifici per sobre de la planta baixa. Tal com descrivim extensament més endavant, té com a principals virtuts ambientals:

- Absorbeix el CO₂ atmosfèric que creix a la natura i, per tant, esdevé pila de carboni.
- És fàcilment reutilitzable i reciclable.
- El volum de residus del procés constructiu és pràcticament inexistent.
- Per la seva baixa densitat, contribueix a l'aïllament tèrmic de l'envolupant.
- Permet reduir el pes global de l'edifici i, consegüentment, el formigó de la fonamentació.

4.1.2. Morter de calç

El morter de calç s'utilitza com a revestiment exterior de totes les façanes. És un revestiment natural tradicional que té els avantatges ambientals següents:

- És biodegradable, gràcies a la cocció a baixa temperatura, i és íntegrament natural.
- És transpirable i facilita l'equilibri higroscòpic entre interior i exterior.
- És reciclable, per la facilitat de retirar-lo del suport, i genera uns residus mínims.

4.1.3. Plaques de guix laminat

Les plaques de guix laminat s'utilitzen com a revestiment acústic entre els habitatges i per a les divisòries interiors. Són un material compost per guix i fibra de cel·lulosa, obtinguda del reciclatge de paper, no porten cap altre aglutinant ni producte químic, i es col·loquen en sec.

4.1.4. Llana de roca

La llana de roca s'utilitza com a aïllament tèrmic i acústic a tot l'edifici, ja que permet aïllar els tancaments interiors i exteriors. És un material d'origen natural i reciclable. En el cas de l'edifici Cirerers hauria estat preferible substituir-la per fibra de fusta, que no necessita tanta energia per a la fabricació, però té un cost més elevat i, tal com ja s'ha dit, aquest material es va descartar en una de les simplificacions adoptades per reduir costos.

4.1.5. Construcció en sec

Per sobre de la planta baixa, tot l'edifici està construït mitjançant tècniques en sec, que consisteixen a construir sense aglomerants humits (morters, formigons, guixos), a excepció del revestiment exterior de morter de calç i els enrajolats interiors dels banys (que estan fixats amb ciment cola). Des d'un punt de vista ambiental, això permet:

- Reduir de manera considerable el volum de residus.
- Facilitar el desmuntatge, el reciclatge i la reutilització dels materials.

4.2. Estructura de l'edifici

L'estructura de l'edifici Cirerers està formada per:

- Formigó armat a la fonamentació, a la planta baixa, al nucli de l'ascensor i a l'escala fins a la tercera planta.
- Acer als pilars i als tornapunts dels balcons i les escales d'accés de la tercera planta a la setena planta.
- Pareds i forjats de fusta laminada encreuada, d'origen austríac, a la resta de l'edifici per sobre de la planta baixa.

Els condicionants que han afegit el valor necessari a l'estructura de fusta pel que fa a l'ús d'aquest material en aquesta promoció són els següents:

- Cost global d'execució del material d'obra.
- Sostenibilitat.
- Característiques de la fusta, com ara l'aïllament tèrmic, el baix pes, la sinergia amb altres elements d'aïllament acústic i el bon comportament davant el foc.
- Millores de les qualitats mecàniques de la fusta laminada encreuada.

4.2.1. Cost d'execució del material d'obra

En les primeres versions del projecte, l'estructura de l'edifici era uns 450.000 euros més costosa del que seria si fos de formigó armat i amb tancaments ceràmics (vegeu la figura 12). Aquesta xifra resultava excessiva i poc justificable, i es van prendre un seguit de mesures orientades a simplificar i a optimitzat l'estructura de fusta, que, bàsicament, van consistir a:

- Reduir al màxim els elements metàl·lics de l'estructura i substituir-los per altres de fusta, atenent a l'alt cost de les estructures mixtes i de les pintures intumescent. Es van modificar els balcons, els carrers replà i el nucli d'ascensors, en què es va canviar el metall per fusta. Així, es va aconseguir un estalvi de 216.821 euros.

- Suprimir la planta soterrani i renunciar a l'aparcament. Amb això es va aconseguir una reducció de 161.641 euros.

Amb aquestes modificacions, el projecte sí que va passar a ser econòmicament viable i es va mantenir l'opció de fer l'estructura totalment de fusta (vegeu la figura 13).



FIGURA 12. Model de CYPECAD per a simular l'estructura de formigó.
FONT: Estudi M103, SLP.

4.2.2. Sostenibilitat

La fusta és més sostenible que el formigó i l'acer.

La producció de formigó i d'acer són summament perjudicials per al medi ambient. La producció de ciment per si mateixa, un ingredient clau del formigó, és responsable, aproximadament, del 8% de les emissions de carboni del món, més que qualsevol altre país que no sigui la Xina o els Estats Units. I la demanda de sorra, un altre ingredient clau, és insostenible i devastadora per als ecosistemes.

El propòsit d'una construcció sostenible no és l'obra, sinó crear un ambient saludable, adaptable i segur per als habitants. Tal com defensa Frane Zilic Montanari, docent de la Universitat Concepción, per a ser efectiva, la construcció sostenible ha de considerar l'impacte en el medi social, ambiental i econòmic, al llarg de tot el cicle de vida de l'edificació, des de la matèria primera (l'arbre) fins al reciclatge (vegeu la figura 14).

Entre el formigó, l'acer i la fusta, aquest últim és l'únic material estructural renovable, biodegradable, reciclable i que en el procés de producció no emet CO₂, sinó que el captura, de manera que és part de la solució i no del problema. És per això que l'Organització de les Nacions Unides, a l'informe de l'any 2016, assenyalava que la construcció amb fusta és una solució per a frenar el canvi climàtic.

En el nostre cas, s'utilitzen uns 732 m³ de fusta, que equivalen, aproximadament, a un emmagatzematge de 732 tones de CO₂.

Per tal d'ampliar aquests conceptes, val la pena llegir l'article escrit originalment per Tim Smedley per a Medium i publicat al blog *Madera21*, titulat «Construir con madera es la última tecnología de captura de carbono».

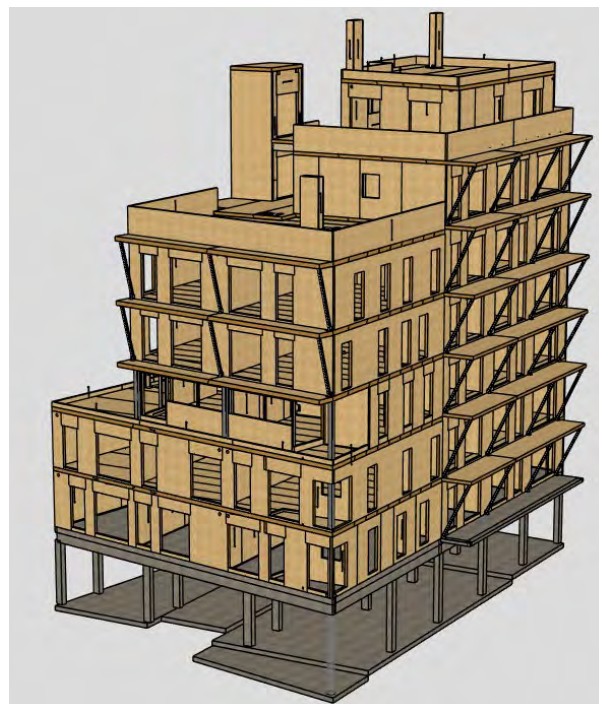


FIGURA 13. Model de Cadwork per a simular l'estructura de fusta.
FONT: Estudi M103, SLP.

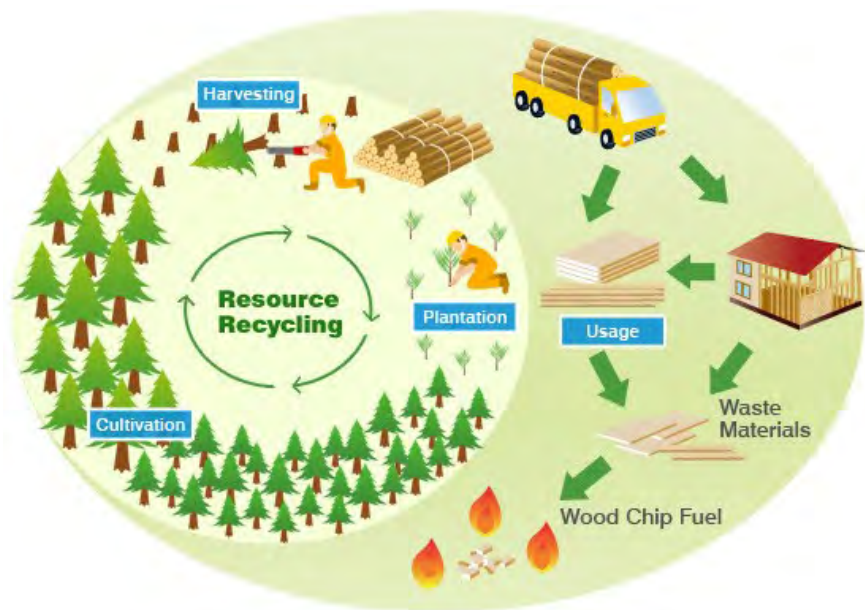


FIGURA 14. Representació del cicle de vida de la fusta.

FONT: <https://www.maderea.es/madera-reusable-reciclable-revalorizable/>.

4.2.3. Altres propietats que afavoreixen l'ús de la fusta

Propietats de la fusta com ara l'aïllament tèrmic, el baix pes, la sinergia amb altres elements d'aïllament acústic i el bon comportament davant el foc fan que sigui un material adient per a la construcció, a banda d'aportar sostenibilitat:

— Gràcies a la baixa densitat, contribueix de manera eficient a l'aïllament tèrmic de l'envolupant. L'alta resistència que ofereix la fusta al pas de calor la converteix en un bon aïllant tèrmic (al voltant de $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$). És a dir, són valors realment baixos, si són comparats amb altres materials de construcció, com ara el maó, que té una conductivitat d'entre $0,85 \text{ W/(mK)}$ i $0,32 \text{ W/(mK)}$, o el formigó, amb un valor de $2,5 \text{ W/(mK)}$.

— Gràcies a la densitat més baixa, redueix el pes global de l'edifici i, en conseqüència, la quantitat de formigó i el cost de la fonamentació.

— Si es compara amb altres materials de construcció, la fusta té una massa molt menor. Per això, propaga vibracions fins i tot de poca energia. D'altra banda, la composició porosa de la fusta absorbeix l'energia mecànica transportada per les ones de so i les transforma, de manera que fa més difícil que la travessin. Per tant, la llei de masses és fonamental, però amb un disseny correcte d'elements compostos; per exemple, amb una paret formada per fusta i materials elàstics s'assoleixen els nivells requerits. És per això que la fusta funciona com a condicionador acústic en combinació amb productes aïllants. Una posada en obra correcta (encara utilitzant els mateixos materials) pot suposar diferències de fins a 10 dB.

— Quan hi ha un incendi en una estructura resistent es pot produir un d'aquests dos fenòmens: el material perd la capacitat resistent per efecte de la calor (aquest és el cas de l'acer, que perd la capacitat mecànica ràpidament per l'augment de la temperatura, però no es crema), o bé desapareix la matèria resistent (aquest és el cas de

la fusta, que es va consumint amb el foc, perquè és un material combustible). La comprovació d'una estructura davant d'un incendi (foc descontrolat) passa per verificar tres requisits:

1. Resistència dels elements estructurals per pèrdua de capacitat portant o material, durant el temps indicat a la normativa.
2. Integritat del material davant el pas de la calor o de les flames a través seu durant el temps indicat a la normativa.
3. Aïllament tèrmic de l'element: que no transmeti temperatures superiors a 140°C - 180°C durant el temps indicat a la normativa.

En el cas de la fusta, encara que sigui un material combustible, es crea una capa carbonitzada a l'exterior —sis vegades més aïllant que la fusta en situació normal— que protegeix la fusta interior i, per tant, amb la pèrdua d'humitat, la resistència augmenta i les propietats físiques i mecàniques es mantenen inalterades. La pèrdua de capacitat portant de l'estructura es deu a una simple reducció de la secció, més que a una pèrdua de resistència del material. És, així, l'únic material estructural que resisteix més en situació d'incendi que en situació normal.

4.2.4. Qualitats de la fusta laminada encreuada

L'estructura de fusta utilitzada en aquest edifici correspon al concepte de *fusta laminada encreuada*. Es tracta d'un panell format per diverses capes de fusta serrada encolades entre si, que han de tenir forma simètrica i estar compostes per un mínim de tres capes (en general, el nombre de capes és imparell). Davant d'un comportament anisòtrop i d'una composició heterogènia de la fusta convencional, la CLT aporta un comportament ortòtrop i una homogeneïtat més gran (és a dir, les característiques mecàniques i resistents són semblants en les dues direccions del tauler, ja que hi

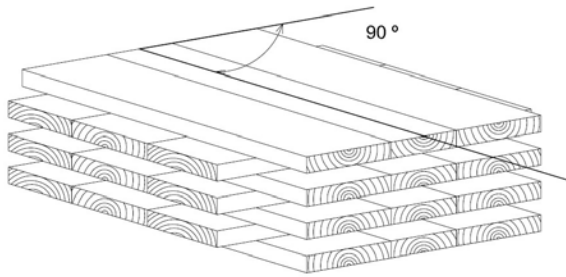


FIGURA 15. Dibuix conceptual dels panells de CLT en què es mostra que es formen apilant i enganxant capes de fusta perpendiculars de manera successiva (set capes, en el cas de la fusta).
FONT: Estudi M103, SLP.

ha làmines amb direccions perpendiculars a les fibres de la fusta), amb molta llibertat pel que fa a les mides, excepte per les limitacions de fabricació, transport i muntatge. A la figura 15 es mostra una representació gràfica d'aquest material.

Segons la documentació tècnica de l'empresa fabricant de taulers de fusta laminada encreuada KLH®, la fusta col·locada en aquest edifici està composta per làmines de coníferes superposades que s'encolen utilitzant coles de poliuretà reactiu (PUR) sense compostos orgànics volàtils (COV; en anglès, *volatile organic compounds*, VOC) ni formaldehids, segons l'estàndard EN 15425, d'abet vermell (*Picea abies*).

Les propietats definides són:

- Conductivitat tèrmica: $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.
- Capacitat tèrmica: $c_p = 1.600 \text{ J/(kgK)}$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.
- Resistència a la difusió: $\mu = 20\text{-}50$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.
- Comportament davant el foc: euroclasse D, s2, d0.¹

Quant a la resistència, té unes propietats estàtiques excel·lents (classificació resistent C24). A més, aquest material passa per un control de qualitat en la producció, està format per elements prefabricats amb una gran exactitud de mesures, és fàcil de muntar, el temps de construcció és breu i es construeix amb tècniques en sec, cosa que fa que el lloc de treball sigui més relaxat, net i segur.

Pel que fa al comportament davant el foc, és bo. Un exemple dels elements utilitzats i el comportament davant el foc són els següents:

- Paret de CLT de 14 cm de gruix, protegida davant el foc per una cara (l'altra està protegida amb revestiments de $3 \times 15 \text{ mm}$ de cartró guix), que suporta el foc durant 90 minuts (així, s'aconsegueix una resistència al foc de R-90).
- Paret de CLT de 14 cm de gruix protegida davant el foc amb panells de cartró guix per ambdós costats. Així, s'aconsegueix una resistència al foc de R-90.

1. D: contribució mitjana al foc; s2: producció mitjana de fum; d0: no es generen gotes/partícules.

- Un panell de forjat de sostre d'una planta tipus, de 180 mm de gruix, situat entre habitatges, té una resistència al foc de R-90 sense cap element addicional aïllant.

4.3. Detalls del projecte d'estructura

En concret, el projecte de l'estructura va ser condicionat per:

- El terreny (desnivell existent i baixa capacitat portant), que va requerir una fonamentació profunda (vegeu la figura 16).
- La durabilitat i el foc. La planta baixa és de formigó, davant el requeriment R-120 (resistència al foc durant 120 minuts en tractar-se d'un local amb concurrència pública), la classe de servei no pot ser més gran de CS2 (humiditat relativa exterior $< 85\%$ i humiditat d'equilibri higroscòpic $< 20\%$) i el requeriment de comportament davant el foc de l'estructura superior és de R-90 (resistència de l'estructura dels habitatges al foc durant 90 minuts).
- Els pilars tubulars, que es van reblir de formigó i tornapunts metàl·lics, perquè si s'haguessin construït amb fusta, haurien tingut unes dimensions excessives. I per requeriments de resistència al foc, havien d'estar protegits amb pintura intumescent.
- Els requeriments acústics, que van fer incrementar el pes de les solucions (en general, solera seca de Ferma-cell) sobre els forjats, tal com es veu a la figura 17 (composició de la secció d'un terra, amb estructura i capes superior i inferiors, i el pes).
- Els condicionants de transport, descàrrega i muntatge, que van limitar la mida de les peces pel pes en punta de la grua fixa de l'obra. S'havia de trobar un equilibri entre

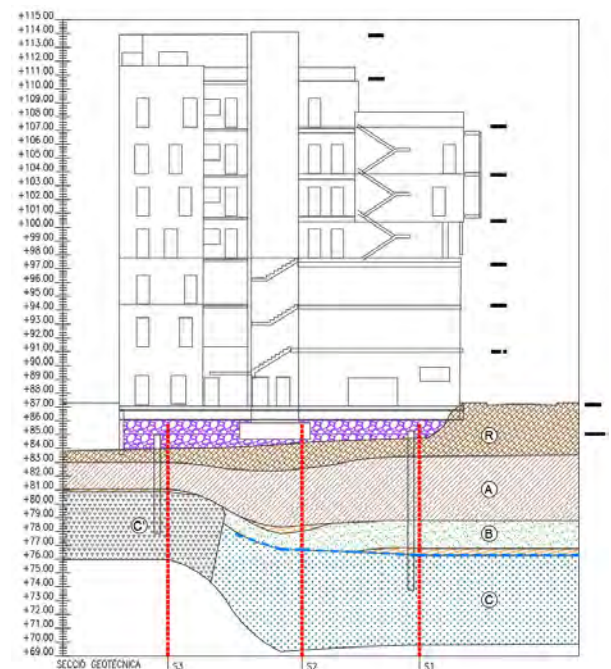


FIGURA 16. Secció geotècnica i nivell de fonamentació del projecte d'estructures.
FONT: Estudi M103, SLP.

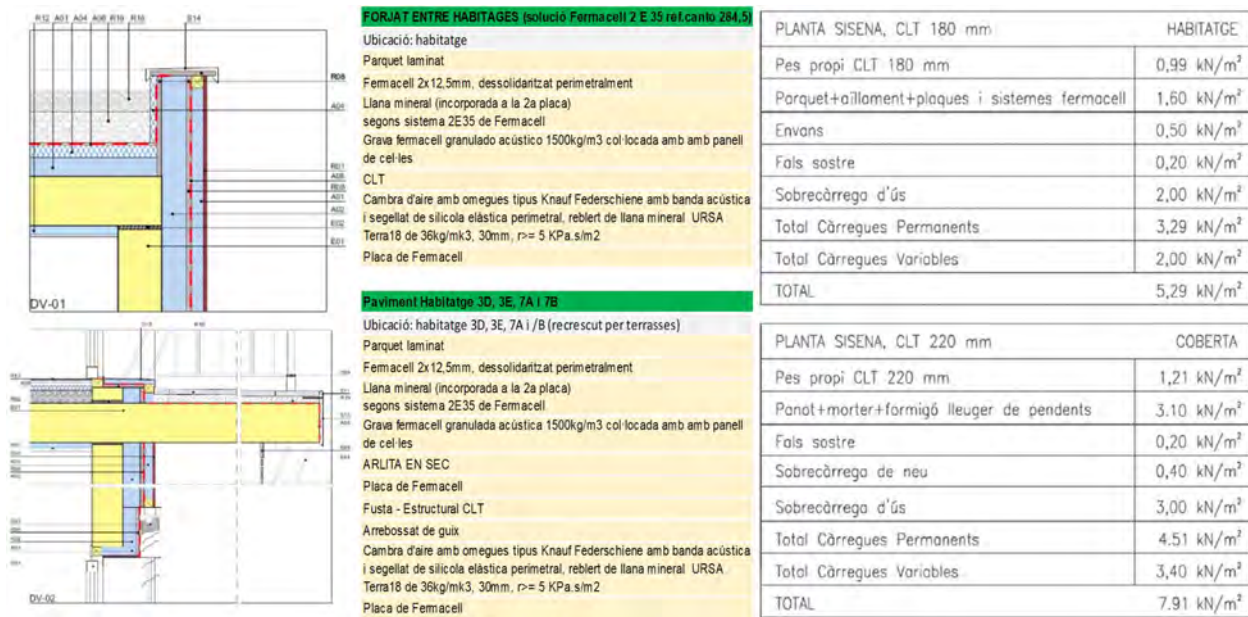


FIGURA 17. Definició de les càrregues als forjats, segons els detalls constructius.
 FONT: Celobert Cooperativa (projecte arquitectònic) i Estudi M103, SLP (projecte d'estructures).

l'eficàcia estructural i les limitacions de fabricació i d'espai de l'obra. Es va comprovar que era millor disminuir l'ample dels panells que no pas la longitud i considerar-los com a bigues contínues de dos llums, cosa que ofereix un millor comportament davant de deformacions i esforços, i propicia un cantell més petit. Les figures 18 i 19 reproduïxen les mides i la distribució d'alguns panells de l'edifici.

Com que es tracta d'elements superficials, el càlcul es duu a terme mitjançant el mètode dels elements finits (FEM, de l'anglès *finite element method*), amb elements assimilables a superfícies. A principis de la dècada de 1960 els enginyers van començar a utilitzar aquest mètode per a buscar solucions aproximades per als problemes d'anàlisi de l'estrès i d'anàlisi de fluids, per a problemes tèrmics i

per a problemes d'altres àrees. A finals de la dècada de 1960 i a principis de la dècada de 1970, aquesta tècnica va començar a aplicar-se a una gran varietat de problemes d'enginyeria. Es va fer popular durant la dècada de 1980, amb l'aparició de l'ordinador personal. Bàsicament, es converteix un problema de càlcul diferencial en un problema d'àlgebra lineal. Es basa a dividir (discretitzar) superfícies en elements delimitats per nodes, que defineixen una malla triangular o rectangular.

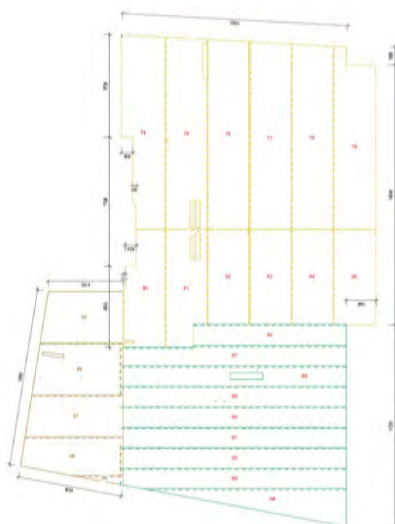


FIGURA 18. Representació en planta de la divisió dels panells del forjat de l'obra, segons els plànols de muntatge de l'estructura.
 FONT: Velima System, SL.

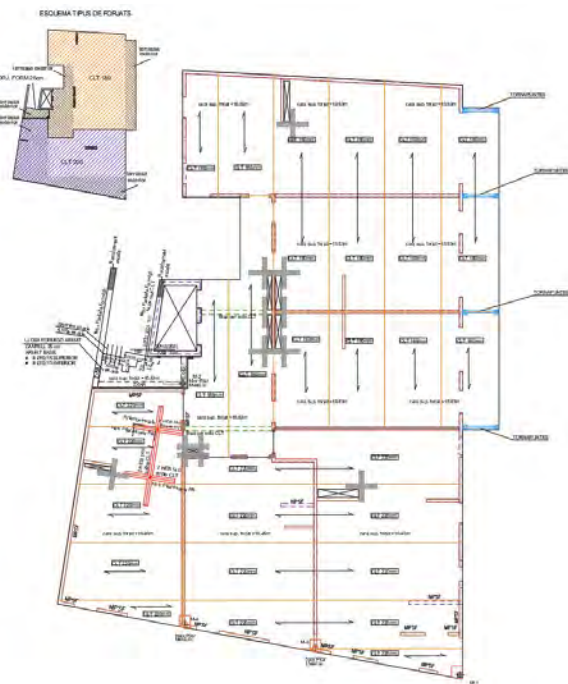


FIGURA 19. Representació en planta de la divisió dels panells, segons el projecte d'estructures.
 FONT: Estudi M103, SLP.

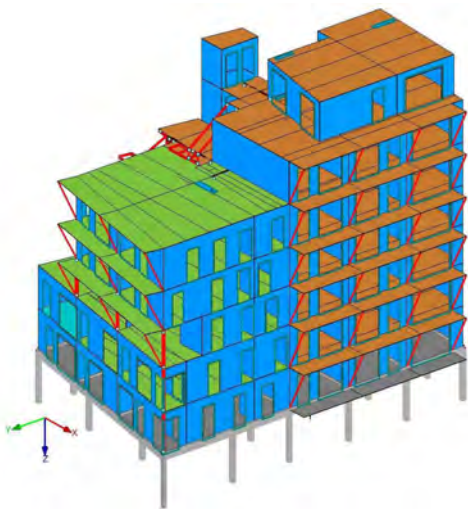


FIGURA 20. Vista 1 del model de càlcul: estructura de fusta.
FONT: Estudi M103, SLP.

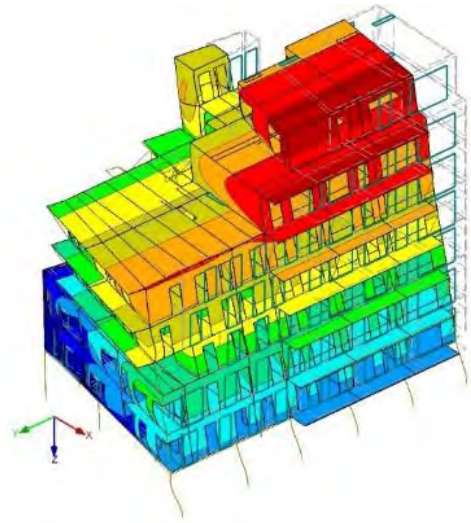


FIGURA 22. Model de càlcul: deformacions totals (combinació quasi permanent).
FONT: Estudi M103, SLP.

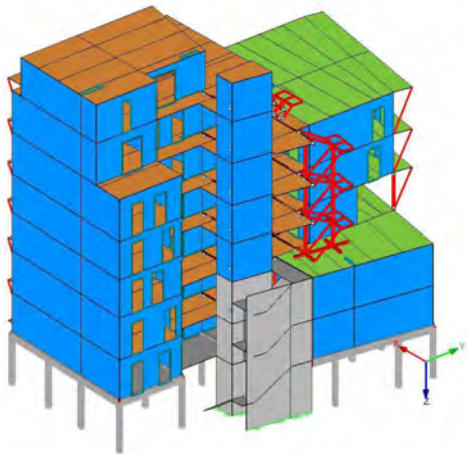


FIGURA 21. Vista 2 del model de càlcul: nucli de l'ascensor i les escales fins a la tercera planta, de formigó; escala entre la tercera planta i la setena, metàl·lica.
FONT: Estudi M103, SLP.

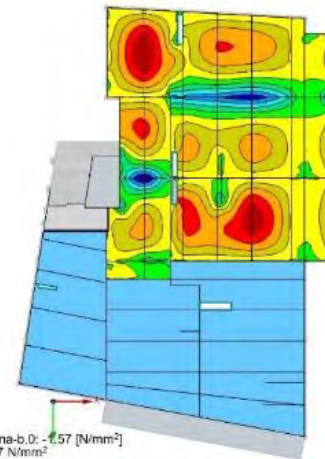


FIGURA 23. Model de càlcul: exemple de resultats de tensions en panells horitzontals per capes.
FONT: Estudi M103, SLP.

En aquest cas, el programari utilitzat és Dlubal RFEM, que incorpora mòduls específics per a fusta i les comprovacions corresponents a aquest material en estats límit últims i de servei. A les figures 20-24 es mostren imatges generades amb aquest programari.

Les unions entre panells de CLT són molt importants, ja que l'estructura de fusta és bàsicament isostàtica, sense unions rígides, i els connectors (els ancoratges, els tirafons, els claus i els elements d'unió prefabricats que són plaques de fixació: WHT hold-down —tracció—, TITAN TTV —tracció i tallant— i TITAN —tallant—) han de garantir una transmissió correcta d'esforços entre elements. Fer aquests càlculs és important i gairebé suposa la tercera part del temps de càlcul. Aquests elements es mostren a continuació a les figures 25-30.

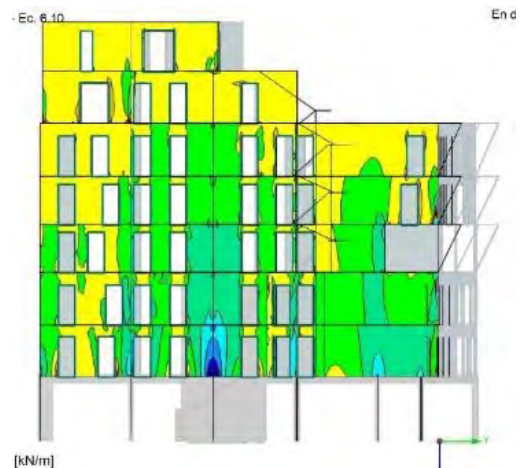


FIGURA 24. Model de càlcul: exemple de resultats de tensions en panells verticals per capes.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 25. Ancoratge SKR per a formigó.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 26. Tirafons utilitzats en unions entre plaques i fusta, i entre panells.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 27. Tirafons utilitzats en unions entre plaques i fusta, i entre panells.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 28. Plaques TITAN N per a tallant.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 29. Plaques TITAN V per a tallant i tracció.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 30. Plaques WHT per a tracció.
FONT: Estudi M103, SLP.

5. Conclusions

L'edifici Cirerers és un projecte d'habitatge cooperatiu en cessió d'ús fet realitat. Aquest model, encara alternatiu, d'accés a l'habitatge és un projecte sense ànim de lucre, no especulatiu i transformador, i, a mesura que es vagi normalitzant, cada vegada serà més accessible. En aquest model, la titularitat de la propietat és col·lectiva i recau en la cooperativa, i les persones sòcies tenen la cessió d'ús dels habitatges. En el camí per a materialitzar el projecte han treballat conjuntament les futures usuàries i els equips tècnics, que han pres decisions en la cerca del sempre difícil equilibri entre els condicionants econòmics, el compromís ambiental i les necessitats i expectatives de les usuàries pel que fa a la qualitat dels espais, així com a les dimensions.

Aquest projecte demostra que és factible construir edificis amb exigències mediambientals molt superiors a les que marca la normativa més exigent i que actualment és vigent. Per a fer-ho, cal invertir en un bon disseny ar-

quitectònic i prioritzar sistemes i materials que no són els més convencionals. La inversió que això suposa es compensa, en part, amb altres renúncies o simplificacions. Tot i així, hi ha un increment en el cost de construcció, que en el cas de l'edifici Cirerers està al voltant del 4%, és a dir, es gastaran uns 40 euros/m² construït més del que costaria construir de manera convencional. Aquesta inversió, a part dels beneficis de confort i ambientals, es calcula que tindrà un període de retorn d'entre quinze i vint anys, de manera que, en termes econòmics, també és una operació rendible.

L'aposta per una construcció sostenible i ecològica permet, a més d'aportar beneficis ambientals i econòmics, gaudir de prestacions altes de confort, salut i seguretat en cas d'incendi, a més de requerir un baix manteniment, ja que es necessiten poques instal·lacions i de baixa potència, i, també, optimitzar l'espai disponible.

Com en qualsevol obra, el disseny d'un edifici té múltiples condicionants —funcionals, econòmics, formals i constructius—, però sempre hi ha unes directrius bàsiques



FIGURA 31. Detall de l'edifici en obra.
FONT: Guifré de Peray | Celobert Cooperativa.



FIGURA 32. Imatge general de l'edifici en obra.
FONT: Guifré de Peray | Celobert Cooperativa.

que desenvolupen les idees principals. En el cas de l'estructura de fusta emprada a l'edifici Cirerers, les característiques que n'afavoreixen i en motiven l'ús són bàsicament la sostenibilitat, la lleugeresa, la rapidesa i el control en l'execució, la netedat en la col·locació en sec i el bon comportament tèrmic. Hem de començar a deixar de banda els prejudicis de fer servir fusta pel comportament davant al foc, ja que, encara que la fusta sigui combustible, és comporta millor i més previsiblement que altres materials estructurals, i, per tant, és més segura que altres materials constructius que, sense ser combustibles, perden la capacitat portant de manera molt ràpida.

Estem en una època de merescut reconeixement a aquestes qualitats de la fusta, però encara queda pendent que se'n generalitzi l'ús. És evident que l'ús massiu d'aquest material farà més competitiu el producte i promourà una millor gestió dels boscos.

Les figures 31 i 32 són imatges de l'edifici en el moment de redactar aquest article, amb l'estructura acabada.

Bibliografia

- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F. (2013). *Estructuras de madera: Bases de cálculo*. Madrid: AITIM.
- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F.; ESTEBAN, M.; ÍÑIGUEZ, G.; ARGÜELLES, R. JR. (2015). *Estructuras de madera: Uniones*. Madrid: AITIM.
- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F.; ESTEBAN, M.; ÍÑIGUEZ, G.; ARGÜELLES, R. JR.; FERNÁNDEZ CABO, J. L. (2011). *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera* [en línia]. Madrid: Maderia. Construcción. <https://egoin.com/wp-content/uploads/2017/04/Guia-calculo_union_estructuras.pdf>.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR) (2016). *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. UNE-EN 1995-1-1:2016*.

DOLEZAL, F. (2012). *Acoustics in wooden structures*. Barcelona: Impulsos ProHolz. [Cursos avançats en construcció amb fusta]

GONZÁLEZ PRIETO, O.; LUENGO CUADRADO, E.; PERAZA SÁNCHEZ, J. E. (2020). *Cómo se fabrican los productos de la madera*. Vol. II: *Construcción y estructuras*. Madrid: AITIM.

GUINDOS, P. (2019). *Conceptos avanzados del diseño estructural con madera*. Vol. II: *CLT, modelación numérica, diseño anti-incendios y ayudas al cálculo*. Xile: UC.

FUENTE, M.; URIOL, J. (2020). *L'acústica en les construccions en fusta*. Barcelona: PROFUSTA. [Apunts del curs]

McLAIN, R., PE, SE (2018). *Acoustics and mass timber: room-to-room noise control* [en línia]. WW-WSP-11 Wood-Works.

PERAZA SÁNCHEZ, F.; PERAZA SÁNCHEZ, J. E.; ÍÑIGUEZ, G.; LUENGO CUADRADO, E.; MONTÓN LECUMBERRI, J.; BOBADILLA MALDONADO, I. (2010). *Guía de la madera*. Vol. II: *Construcción y estructuras*. Madrid: AITIM.

QUEIPO DE LLANO, J.; GONZÁLEZ RODRIGO, B.; LLINARES CERVERA, M.; VILLAGRÁ FERNÁNDEZ, C.; GALLEGU GUINEA, V. «Conceptos básicos de la construcción con madera». A: *Guía de construir con madera* [en línia]. Madrid: Construir con Madera (CcM). <https://www.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2020/06/libro0_conceptosbasicos.pdf>.

SMEDLEY, T. (2020). «Construir con madera es la última tecnología de captura de carbono». *Madera21* [en línia]. <<https://www.madera21.cl/construir-con-maderas-la-ultima-tecnologia-de-captura-de-carbono>>. [Escrit inicialment per a Medium]

WALLNER-NOVAK, M.; AUGUSTIN, M.; KOPPELHUBER, J.; POCK, K. (2014). *Cross-laminated timber structural design*. Vol. 2: *Applications*. Viena: ProHolz. ISBN 978-3-902320-96-4.