



Anàlisi comparatiu entre sistemes constructius industrialitzats i convencionals i els seus impactes ambientals

INVESTIGACIÓ SOBRE PREFABRICACIÓ, SOSTENIBILITAT I COST

Cas real de l'edifici de d'HCCU Cal Paler Nou a Cardedeu

Desenvolupat per



Equip de treball



STEM arquitectes

LA CONS
TRUCTIVA.

Amb el suport de



Índex

0. Resum Executiu	3
1. Introducció	4
2. Objectius	8
3. Metodologia de treball	9
3.1 Dades de partida	9
3.2 Objecte d'estudi i escenaris considerats	9
3.3 Límits del sistema: fases del cicle de vida (a l'ACV) i impactes ambientals	25
3.4 Fonts i bases de dades ambientals	28
4. Resultats	29
5. Millores	54
6. Conclusions	56
7. Ànnex – Dades ambientals	60

0. Resum executiu

Aquest document presenta els resultats d'una anàlisi de sostenibilitat sobre alternatives de sistemes constructius industrialitzats i convencionals, prenent com a base d'estudi el projecte per a l'edifici de d'HCCU Cal Paler Nou a Cardedeu.

Ha estat desenvolupat des de la intenció de impulsar canvis a la construcció d'edificis d'habitatge que suposin millores ambientals socials i econòmiques. S'ha treballat a partir de la intenció d'aportar més eficiència a la construcció i de dotar de major qualitat de vida als seus futurs habitants. Amb un ull posat en col·laborar amb la promoció de noves maneres d'accedir a l'habitatge, de fomentar l'economia col·laborativa i promoure un habitat més inclusiu.

L'estudi ha estat desenvolupat per Societat Orgànica (assessors ambientals) amb la col·laboració de labaula Arquitectes – Stem Arquitectes (projectistes), La Constructiva (constructora) i Sostre Cívic (promotora i qui va encarregar l'estudi). La participació d'aquests quatre actors de l'edificació ha permès treballar des d'una visió integradora i alhora exigent sense la qual l'anàlisi duta a terme no hagués arribat a la totalitat del procés d'edificar des d'una visió cooperativista.

El document presenta les següents fases de treball:

- Què és i per a què serveix aquest estudi
- Quins objectius té el treball desenvolupat
- Com és el projecte que es fa servir a l'anàlisi
- Quins sistemes constructius s'avaluen, com i perquè
- La metodologia i les dades emprades, els seus límits
- Els resultats assolits i la seva anàlisi crítica
- Les conclusions aplicables en aquest i altres projectes
- Les recomanacions sobre com fer servir la informació

El treball en col·laboració ha permès eixamplar el coneixement previ sobre les possibilitats, avantatges, inconvenients i precaucions a l'hora de implantar innovacions presents en el mercat però encara no d'ús habitual o massiu, que permetin fer créixer el grau de industrialització als processos constructius dels edificis.

En alguns casos es van comprovar, en el propi àmbit del projecte, alguns aspectes ja coneguts de la relació entre la industrialització i la sostenibilitat -que no és directa- que ajuden a determinar possibles camins a seguir. En altres casos, es van determinar algunes novetats que, a judici dels autors del treball, revelen aspectes encara no del tot coneguts dels sistemes constructius així com posen en dubte l'existència d'una informació prou completa i una maduresa suficient com per poder arribar a conclusions definitives.

Sense avançar massa els resultats de l'estudi, que necessiten d'una lectura prèvia per posar-se en tema i entendre l'extensió, la complexitat, les limitacions i alguns dubtes que encara es poden mantenir des d'una anàlisi crítica, cal dir que van en la direcció de l'interès i la conveniència de anar implantant un major grau d'industrialització a la construcció anant en el mateix sentit dels objectius de sostenibilitat ambiental, social i econòmica.

Aquest informe, en la seva part final i gràcies a un estudi desenvolupat per La Constructiva, permet establir unes relacions inicials -tot i que cal confirmar-les en la pràctica en el futur- entre els avantatges de les solucions constructives de menor impacte ambiental i el posicionament relatiu de les solucions constructives avaluades en quant a preus de construcció.

Finalment, cal una invitació als lectors d'aquest document a donar continuïtat a aquestes experiències de feina més recerca, integrades i complementàries, que són de gran ajuda per innovar en el sentit de la millora de la sostenibilitat al sector de l'edificació.

1. Introducció

Origen de l'estudi

Aquest estudi s'emmarca dins de l'Estratègia Catalunya 2020 per la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el consum eficient de l'energia i els recursos. L'estudi consta d'una anàlisi comparativa de sistemes prefabricats versus no prefabricats i els seus impactes ambientals per mitjà del mètode de l'anàlisi del cicle de vida dels materials. L'estudi també explora com es poden adaptar el sistemes prefabricats a la tipologia de l'edifici necessàriament flexible de l'HCCU Cal Paler Nou a Cardedeu, així com als costos assumibles.

S'ha comptat amb el suport de



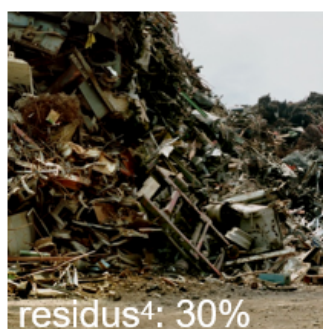
Generalitat de Catalunya
**Departament de Treball,
Afers Socials i Famílies**



A continuació es presenten certs temes rellevants de cara a enquadrar l'estudi en el marc de l'impacte ambiental del sector de l'edificació i l'economia circular a la construcció.

Impacte ambiental de l'edificació

Tot i que es pot trobar molta literatura sobre aquest tema i amb dades molt diverses, és important deixar clar que el fet d'edificar (i tots els processos associats que comporta) implica un elevat impacte ambiental (afectació del territori, consum de recursos, emissió de residus, etc.). De forma aproximada, l'edificació causa entre un 20% i un 30% del total dels impactes.



+

acidificació
biodiversitat
capa de ozó
efecte hivernacle
erosió
eutrofització
pluja àcida
metalls pesats
recursos abiòtics
recursos biòtics
smog d'estiu
smog d'hivern
ocupació del sòl
toxicitat ambiental
toxicitat humana

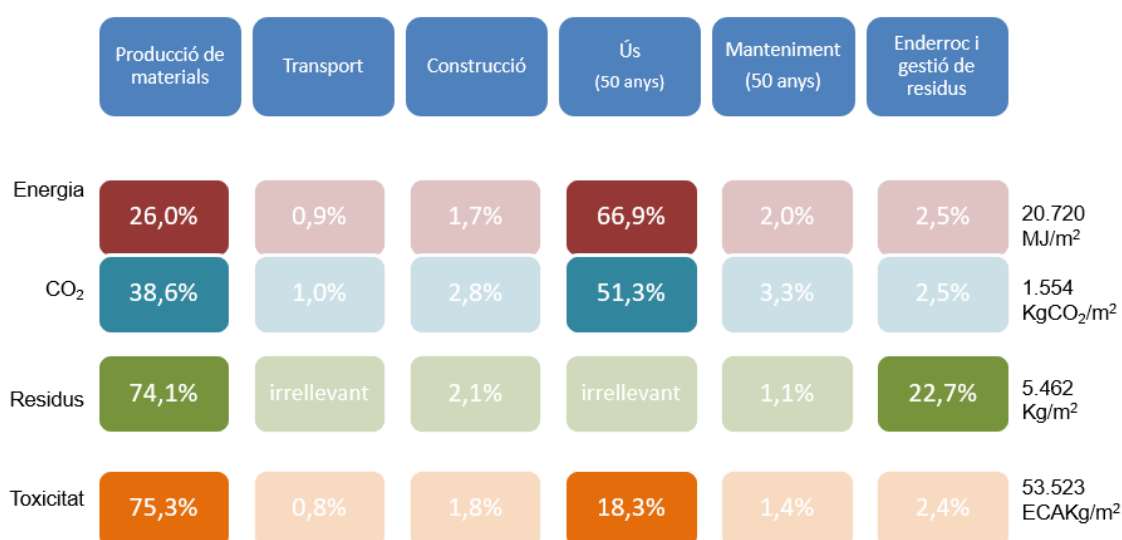
1: Wuppertal Institute, 2: Agència Catalana de l'Aigua, 3: IDAE y estimacions pròpies, 4: PROGROC (Generalitat de Catalunya)

Per tant, qualsevol acció per reduir aquest impacte pot significar importants millores ambientals, socials i econòmiques sobretot a les nostres ciutats densificades, gran consumidores de recursos no renovables i generadores de residus contaminants.

És fonamental que les ciutats i els assentaments humans siguin inclusivament, segurs, resilents i sostenibles. La meitat de la humanitat, uns 3.500 milions de persones, viuen actualment en ciutats, i aquesta xifra seguirà en augment. Atès que per a la majoria de persones el futur serà urbà, les solucions a alguns dels principals problemes als que s'enfronten els éssers humans - la desigualtat, el consum de recursos, la contaminació i les conseqüències del canvi climàtic (sequeres, etc.) - s'han de definir a escala local i metropolitana.

Impacte ambiental dels materials de construcció

D'aquest elevat impacte una part significativa prové d'extreure i fabricar els materials, tal com es pot observar en el gràfic següent (entre un 26% i un 75% del total del cicle de vida d'un edifici, segons l'impacte considerat).

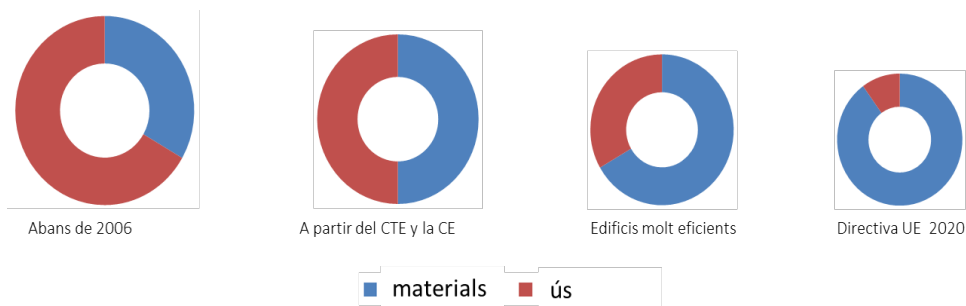


Impacte ambiental en el cicle de vida d'un edifici d'habitatges.

Font: La sostenibilitat en l'arquitectura industrialitzada. La construcció modular lleugera aplicada a l'habitatge. Tesis doctoral Gerardo Wadel.

Tot i aquest elevat impacte, la realitat però és que avui dia encara no hi ha una cultura al respecte i, per tant, tampoc una normativa que ho reguli, per exemple, fixant límit pels impactes dels materials com és habitual a l'energia o les emissions de efecte hivernacle en la fase d'ús de l'edifici.

A més, a mesura que es va disminuint l'impacte d'altres etapes del cicle de vida de l'edifici, com la d'ús (a través de les directives europees i les conseqüents adaptacions locals), l'impacte ambiental dels materials augmentarà tant en valor absolut (cada vegada necessitem més recursos per satisfer les nostres necessitats) com també a nivell percentual en el cicle de vida.



Evolució conceptual del consum d'energia / emissions GEI en els edificis. Imatge: elaboració pròpia

Sostre Cívic

c.Casp, 43, baixos. Barcelona | info@sostrecivic.cat | www.sostrecivic.cat

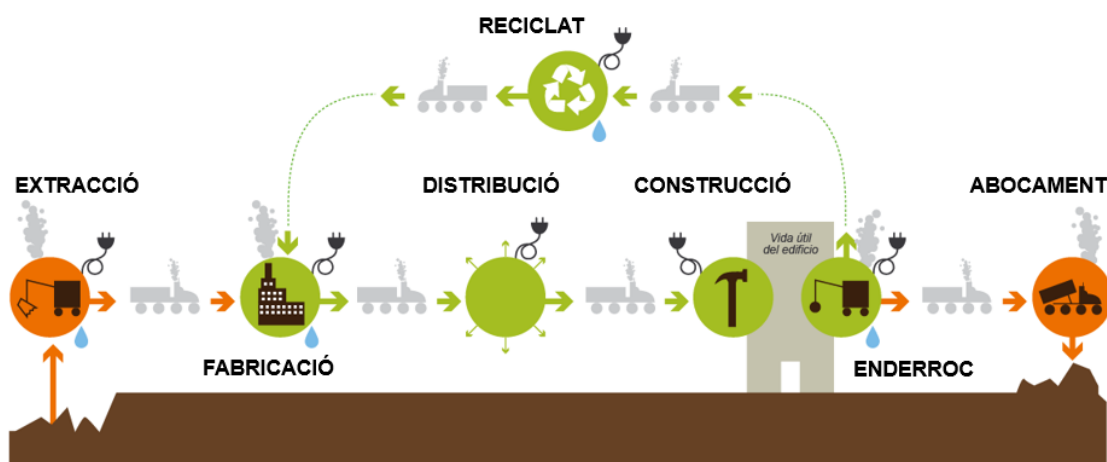
Un altre aspecte a destacar dels materials és que el seu impacte es genera de forma gairebé "instantània". Un cop s'han prescrit els materials que conformaran un edifici, l'impacte que produirà ja ha estat "decidit".

La única forma de reduir-lo és augmentar la seva utilitat, és a dir la vida útil de l'edifici sense grans transformacions. Dissenyar per tal que l'edifici pugui adaptar-se a usos diversos en el futur.

Cap a on anem. Economia circular. Del nZEB al ZIB

Quina és la solució? La resposta no és senzilla perquè la realitat és complexa i existeixen moltes limitacions. En tot cas sembla que existeix un d'acord sobre què significa la sostenibilitat ambiental.

Ser sostenible des d'un punt de vista ambiental vol dir, com a mínim, ser capaços de tancar els cicles materials. És a dir, de reconvertir els residus generats una altra vegada en recursos de la mateixa qualitat original, amb les mateixes prestacions. I a més, a un ritme pertinent que no generis desajustos ambientals i socials. I sempre amb l'aportació de l'única energia que ho permet assolir: la que prové del sol, renovable.



Cicles materials oberts i tancats. Imatge: elaboració pròpia

És en aquest sentit que es defineixen els objectius de les diferents polítiques ambientals de la UE, com per exemple, l'economia circular. Tot i que, majoritàriament, encara ens trobem en una societat i una economia de cicle lineal obert.

Per tant, es proposa que a nivell de societat siguem capaços de passar del conegut concepte nZEB (nearly Zero Energy Building, que només afecta a l'energia i al CO₂ de la fase d'ús de l'edifici) al concepte ZIB (Zero Impact Building), tenint en compte tots els impactes i totes les fases del cicle de vida del procés edificatori.

El paper i les potencialitats de la prefabricació i la industrialització

El concepte d'industrialització és més ample que el de prefabricació. La prefabricació remet a l'elaboració d'un element a fàbrica que, després, es pot utilitzar dintre d'un procés d'industrialització o, pel contrari, a un sistema convencional (com una bigueta pretesada col·locada a un forjat unidireccional in situ). En canvi, la industrialització d'un sistema constructiu implica processos en el que molts dels elements de l'obra han estat elaborats, mecanitzats i muntats a un centre de producció controlada (fàbrica), essent aquests elements transportables per, posteriorment, ser muntats (generalment en sec) a l'emplaçament.

La industrialització suposa una modificació al procés de disseny i construcció del projecte, pressuposa més temps, precisió i compromís a la fase de projecte però, menys temps d'execució i menys

contratemps de pressupost a obra. És un procés més controlable. La industrialització es pot realitzar amb molts tipus de materials com l'acer, la fusta, els panells o elements de formigó, plàstics, etc.

Respecte a la implicació ambiental que suposa la industrialització als processos de la construcció, es pot dir que, al ser el procés de disseny més precís, es poden minimitzar els residus d'obra i fàbrica (evitant l'eliminació de productes tòxics), optimitzar la quantitat i qualitat de material (menys recursos nous), utilitzar menys maquinària a obra (energia incorporada a la fase de construcció) i fer més assequibles els materials d'origen natural com la fusta i terra. Ja sigui per la seva utilització escassa, i per tant, per una mancança d'economia d'escala, o per la falta de mà d'obra especialitzada en aquestes tècniques oblidades que no es fan servir de manera estesa a la construcció actual.

La industrialització suposa també una reducció dels temps d'execució d'obra (ja s'havia comentat, però, que requereix de major temps de projecte ja que els processos de producció i la definició dels elements constructius han de ser completament definits). Aquesta reducció de temps, quan es tracta de percentatges elevats del procés de construcció o fabricació de l'edifici realitzat a taller, arriben a reduir el temps d'obra fins a les dues terceres parts.

També des del punt de vista de la seguretat i el confort, la industrialització té unes potencialitats que cal tenir en compte. El procés de construcció habitualment, té lloc en emplaçaments canvians entre obra i obra i, sovintejadament, en entorns habitats d'alta densitat. El fet que la construcció canviï de lloc d'edifici en edifici o la presència de veïns en les proximitats de l'obra suposa, tot i les mesures que es disposen per contrarestar-les, unes mancances de seguretat i confort així com unes molèsties, tant pels treballadors com pels habitants, que la fabricació d'edificis en taller evita majoritàriament. Treballar sota coberta, disposar de vestuaris, no canviar d'emplaçament constantment, gaudir d'un control de seguretat superior etc., són beneficis pels treballadors. Evitar el moviment de materials, residus, maquinària, personal, etc., així com sorolls, vibracions, generació de pols, limitació de la circulació, etc., són millores per als veïns de l'obra.

Un altre aspecte que cal destacar és que la industrialització, tal com s'ha comentat en els paràgrafs precedents, presenta potencialitats per a la reducció de l'impacte ambiental de la construcció però, en sí mateixa, no assegura majors nivells de sostenibilitat. La determinació dels processos de producció més eficients, l'origen i característiques ambientals dels materials, l'eficiència de la maquinària empleada, l'optimització de les quantitats de materials invertits i la coordinació modular, la gestió dels residus per a la minimització i valorització, la reversibilitat del sistema constructiu i el grau de recuperació dels recursos invertits al final del cicle de vida de l'edifici, el disseny per a la mínima despesa energètica en fase d'ús... tots són aspectes que no estan definits per la naturalesa del sistema constructiu sinó que cal desenvolupar-los també en el cas de la industrialització.

Finalment, cal contemplar dos aspectes potencialment negatius de la industrialització que són una possible concentració de la producció d'edificis en poques empreses i una probable disminució de la mà d'obra empleada. Cal dir, però, que aquests aspectes també poden formar part dels objectius per a la definició d'un sistema constructiu industrialitzat. Els processos productius poden distribuir-se en el territori, gràcies a la planificació i la cooperació entre diferents oficis, tallers i altres capacitats instal·lades que cal reconèixer. I la mà d'obra pot ser més o menys intensiva en la fabricació i muntatge dels elements constructius sense que això suposi pèrdues de qualitat, reducció de temps o altres factors que en principi poden semblar dependents exclusivament de la mecanització i l'automatisme en la fabricació. A més de les pròpies definicions del sistema constructiu i la seva manera de produir-se, els requeriments dels plecs tècnics de construcció, la política fiscal, els protocols de compra pública i privada, les ajudes per a recerca i desenvolupament, etc., poden ajudar a limitar aquests aspectes negatius que en principi podria suposar un procés d'industrialització al sector de l'edificació.

2. Objectius

La determinació de l'estructura o tancaments a escollir a un edifici de nova construcció depèn de molts factors: les característiques del sòl de l'emplaçament, els materials disponibles a l'entorn i el seu preu, la disposició de mà d'obra més o menys especialitzada, la inversió econòmica que cal escometre, el tipus d'usos es vulguin allotjar a l'edifici, els aspectes derivats de l'esperit cooperatiu i els propòsits socials, etc. La majoria de vegades però, els aspectes ambientals encara no formen part dels requeriments a tenir en compte.

L'objectiu principal d'aquest estudi és determinar quines millores ambientals pot comportar un canvi des dels sistemes constructius convencionals, o habituals, cap a unes altres que suposin un gran d'industrialització més elevat. En forma complementària i en col·laboració amb altres equips de treball, se'n avaluen també alguns aspectes socials i econòmics derivats d'aquestes modificacions constructives.

Per tal d'assolir aquest objectiu principal, s'ha dut a terme una anàlisi quantitativa i qualitativa de l'impacte ambiental aproximat dels materials (bàsicament en l'etapa d'extracció i fabricació, seguint la metodologia de l'anàlisi de cicle de vida simplificat ACV) emprats en diverses alternatives de proposta constructiva de l'edifici d'habitatge així com de la seva capacitat de tancar cicles (evitar els recursos no renovables i els residus contaminants).

Es tracta de dotar de dades de tipus ambiental als agents que participen en el procés de disseny i construcció dels blocs d'habitatges de manera general i, en particular, en aquest cas d'estudi a l'edifici de d'HCCU Cal Paler Nou – Cal Paler Nou a Cardedeu, que permetin valorar quantitativament l'adopció de majors nivells de prefabricació o industrialització versus els sistemes tradicionals d'addició d'elements constructius a obra, així com el pes relatiu de les diferents fases constructives a una edificació nova.

A cada alternativa constructiva les dades ambientals es combinaran, comptant amb l'ajuda de l'equip de La Constructiva, Labaula Arquitectes i Stem Arquitectes, amb les econòmiques. Això permet disposar d'una visió més global de la sostenibilitat, determinar les repercussions pressupostàries dels canvis plantejats i conèixer l'estat del mercat en aquests moments, pel que fa a disponibilitat i preu relatiu de les variants tècniques.

Les alternatives contemplades es divideixen en dues opcions de fonamentació, quatre de sistemes estructurals, set de tipus de façana i deu d'acabats possibles, d'acord amb les possibilitats d'oferta de productes i serveis actual en el mercat.

En segon terme, com a objectiu complementari, es planteja determinar quines línies d'actuació caldria desenvolupar o aprofundir per fer els estudis d'ACV simplificats més rigorosos i relacionats amb altres paràmetres que intervenen al processos de disseny i construcció dels habitatges com poden ser els tècnics i socials (sempre prenent com exemple el cas de l'edifici analitzat en aquest treball).

3. Metodologia de treball

3.1 Dades de partida

A continuació s'exposen les principals fonts d'informació que han permès conèixer amb més detall les diferents variables que formen part del treball. I establir així els escenaris analitzats i les unitats funcionals tingudes en compte a l'estudi.

- A) Informació gràfica i escrita del procés de disseny del projecte arquitectònic dels 39 habitatges en cessió d'ús al PAU 102 de Cardedeu per labaula Arquitectes i Stem Arquitectes.
- Graella de les opcions estructurals teòriques plantejades
 - Projecte bàsic
 - Plànols estructurals i detalls dels elements
 - Seccions constructives estudiades
- B) Reunions i consultes amb els actors implicats a l'estudi: la constructora La Constructiva, l'equip d'arquitectura redactor del projecte conformat per labaula Arquitectes i Stem Arquitectes i els promotors del projecte, la cooperativa Sostre Cívic, per definir la unitat funcional representativa, acordar els amidaments corresponents a cada sistema constructiu estudiat, coordinar la realització de l'estudi segons el calendari de la promoció i els col·laboradors intervinents.

3.2 Objecte d'estudi i escenaris considerats

L'estudi avalua els factors ambientals dels subsistemes constructius d'estructura i façanes d'una promoció de 39 habitatges cooperatius en modalitat de cessió d'ús a l'àmbit del PAU 102 Cal Paler Nou de Cardedeu. La cooperativa d'habitatge en cessió d'ús Sostre Cívic SCCL, encarrega a labaula Arquitectes i a Stem Arquitectes el projecte d'aquesta promoció d'habitatges. Com a promotora estarà la cooperativa de Cal Paler Nou.

L'edificació s'alinea a vial i, per les diferències de cota del terreny, té dos plantes en soterrani, planta baixa a cota de carrer i tres plantes superiors amb altells en algunes parts de la tercera planta.

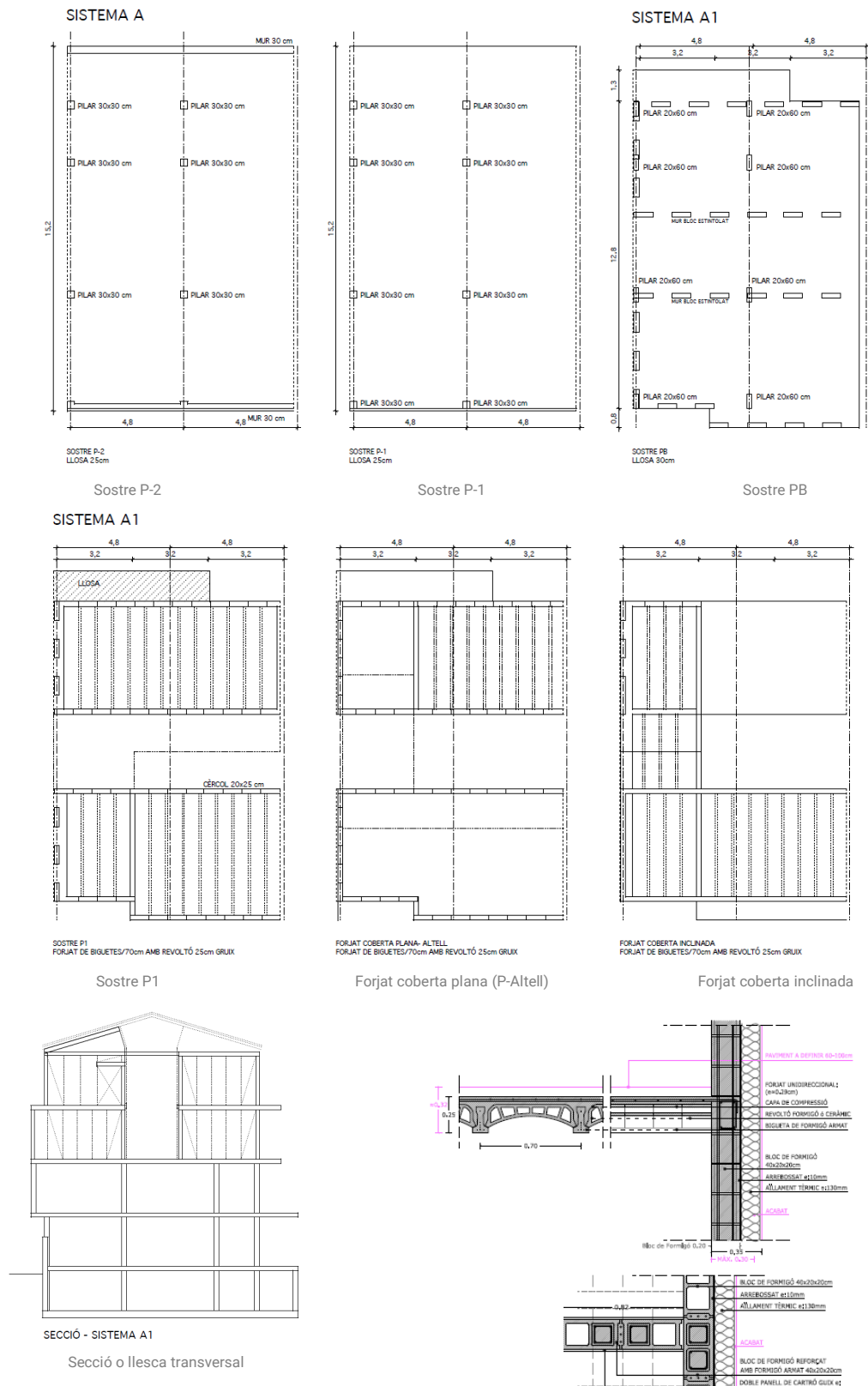
Objecte d'estudi

Per poder realitzar un estudi ambiental s'ha de definir la unitat funcional més representativa i adient a analitzar, ja que ha de ser aplicable en el projecte d'aquest edifici, però, també útil per a projectes futurs de la cooperativa Sostre Cívic. I, així, ajudar a prendre decisions ambientals orientatives a la fase inicial de projecte i a la resta del procés de disseny de futurs projectes d'altres edificis d'habitatge.

Conjuntament amb els projectistes es va definir que la unitat funcional seria una secció o llesca de la part central del bloc. Una part regular i representativa del total que inclou tots els elements variats que conté l'edifici (tribunes, balcons, cobertes planes i inclinades, pati interior-atri, etc.). La consideració de les parts de l'edifici que no són regulars s'estimaran i es repercutiran en aquesta secció d'estudi o, quan això no fos possible, seran considerades de manera qualitativa. Aquesta unitat funcional en planta considera una superfície de 15,20 m x 9,60 m en planta i, en secció, una altura de 18,50 m al punt més alt. Compta un soterrani (P-2), un semisoterrani (P-1), tres plantes sobre rasant (PB + P1 + P2) i les golfes o altells ja mencionats. Les plantes sota rasant seran dedicades a aparcament (P-2), accessos i locals (P-1). La resta de plantes, sobre rasant, estan dedicades a habitatge.

Per a l'estudi de façanes i acabats, la unitat funcional es va simplificar en un metre quadrat de superfície que és representativa i comparable amb la mateixa unitat de qualsevol altre edifici, repercutint les parts proporcionals de remats per percentatges però sense comptar estructuralment els llindars o brancals. Sí es compten a la estructura els trobaments amb forjats i també els coronaments. Un exemple d'unitat

tipus de l'escenari estructural A, que explicarem més endavant, és el següent (informació proporcionada pels arquitectes).



Plantes estructurals, secció (llesca) i detall constructiu dels escenaris A (fonaments) i A1 (estructura) realitzat per l'equip projectista labaula - Stern Arquitectes, per a la configuració de la unitat funcional de l'estudi.

La resta de definicions d'unitats funcionals segons cada escenari i les seccions corresponents a cada tipus de façana i acabats s'adjunten de forma més detallada a l'Annex I, a continuació d'aquest document.

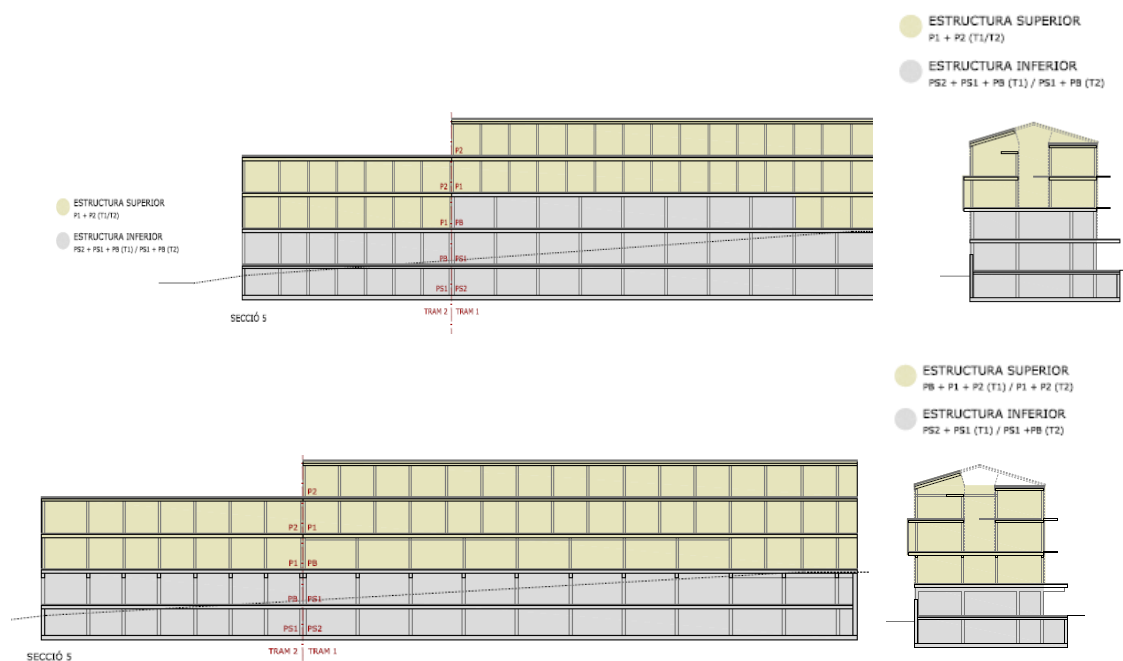
Escenaris

L'augment de l'ús de materials més industrialitzats per una part i, per altra banda, de materials d'ús menys habitual fins als anys recents a Catalunya com la fusta, obre diferents possibilitats constructives a estudiar. Per això s'estableixen varis escenaris tipus, tenint en compte des dels sistemes convencionals instaurats fins ara (obra in situ i humida) fins a altres prefabricats basats en fusta i, complementàriament, també en acer. Així s'obre un debat de major profunditat sobre el paper que podria tenir la industrialització a la sostenibilitat, respecte de l'obra in situ i els seus impactes habituals. S'intenta aportar dades concretes per determinar quin grau de millora poden aportar al mercat els materials d'origen natural.

Al les seccions de l'edifici següents i al quadre que apareix a continuació es poden observar els escenaris inicials plantejats per, posteriorment, arribar als quatre més representatius. En primer lloc, hi ha una divisió segons el sistema estructural de murs de càrrega o d'estructura porticada, cosa que provoca els tipus de solucions A i B, respectivament. Aquestes solucions consten de dues parts, una estructura inferior amb llums de 4,8 m i una altra superior amb llums de 3,20 m, actuant com a interfase una planta on es realitza l'estintolament entre l'estructura inferior (aparcament) i la superior (habitatge).

La solució A consisteix en una estructura inferior de formigó in situ i que va des de les dues plantes soterrani, amb estructura horitzontal de formigó prefabricat, fins a la planta baixa amb doble estintolament als sostres de la planta -1 i baixa. L'organització de les plantes de l'estructura inferior correspon a l'ordre de la fonamentació i murs de contenció i al sistema de pilars de les plantes sota rasant seguint les necessitats del pàrquing. Tant en aquestes plantes com a la baixa es fan servir lloses i pilars de formigó in situ.

La diferència entre la solució A ja descrita i la B, a més del nombre de plantes que inclou cada una d'elles, és l'estructura horitzontal. A la solució A és una llosa de formigó in situ i a la B és una llosa conformada per prelloses prefabricades que s'acaba de formigonar a obra. D'aquesta manera, l'opció B és la que té un grau d'industrialització més elevat.



Per a les plantes superiors d'habitatge l'estructura té quatre variants:

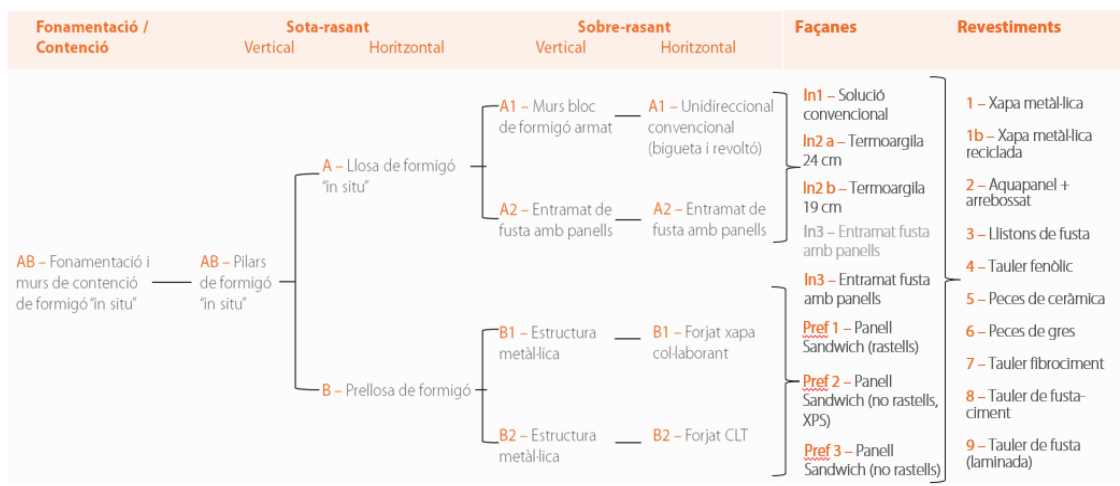
- A1: sistema convencional de murs de càrrega de blocs de formigó reblerts amb armadura vertical tipus pilaret i un forjat unidireccional de biguetes i revoltons.
- A2: murs de càrrega i forjat tipus d'entramat de fusta formant caixes resistents.
- B1: estructura porticada metàl·lica amb forjats de xapa col·laborant i capa de compressió de formigó.
- B2: la mateixa estructura porticada que la B1 però amb forjats plafons de fusta contralaminada (CLT) i capa pesada de graves.

Tot i que els projectistes van plantejar més opcions, representades als quadre següent, aquests conjuntament amb el promotor Sostre Cívic van decidir analitzar els quatre escenaris marcats en titlles verdes per ser els més representatius de cara als objectius de l'estudi.

Estructura	Estructura convencional			Estructura amb nucli			Estructura amb nucli		
	Sistema vertical	Sistema horitzontal	Sistema vertical	Sistema horitzontal	Sistema vertical	Sistema horitzontal	Sistema vertical	Sistema horitzontal	Sistema vertical
Escenari A									
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓
Escenari B									
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓
ESTRUCTURA MUR DE CÀRREGA DE BLOC DE FORMIGÓ REBLERT AMB ARMADURA VERTICAL TIPUS PILARET I UN FORJAT UNIDIRECCIONAL DE BIGUETES I REVOLTONS.		✓		✓		✓		✓	✓

Quadre resum dels escenaris finalment considerats realitzat pels projectistes labaula Arquitectes i Stem Arquitectes

Amb aquests quatre escenaris es contemplen tant la forma de construir convencional in situ com la construcció amb un grau d'industrialització superior que inclouen els tres tipus de materials estructurals més comuns: formigó armat, acer i fusta. També hi són els models estructurals de murs de càrrega enfront d'estructures porticades i les estructures pesades versus les lleugeres (amb les implicacions que això comporta en temes acústics i tèrmics). Els escenaris analitzats es mostren en l'esquema següent, segons els capítols estudiats a l'edifici.



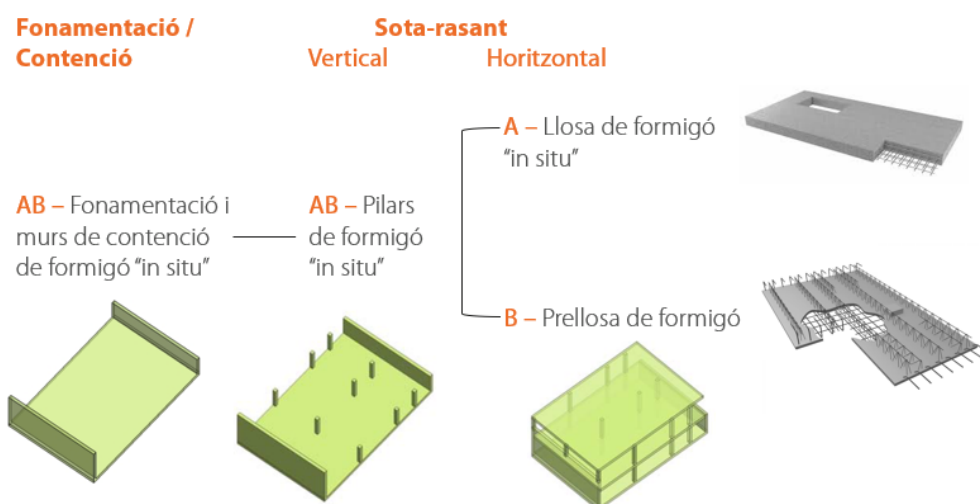
S'ha considerat l'ús que s'assigna a cada espai. Aquest factor és rellevant perquè les exigències normatives són diferents segons els usos i, per tant, les prestacions tècniques dels tancaments canvien. Per exemple l'aïllament acústic per als usos habitatge, local comercial o aparcament són diferents.

Aquestes situacions diverses s'han tingut en compte per l'acompliment de les exigències de salubritat, protecció al foc, aïllament tèrmic i protecció acústica establertes pel Codi Tècnic de l'Edificació (CTE).

Per a la determinació constructiva dels murs exteriors i cobertes, pel que fa als requeriments acústics s'han considerat els mínims exigits a la normativa. Però en el cas dels requisits tèrmics s'ha tingut en compte l'apèndix E del document bàsic d'estalvi energètic (DB-HE1) del CTE, amb un nivell superior de prestacions. Algunes solucions obtenen millors resultats en resistència tèrmica degut a l'augment d'aïllament per complir amb la normativa acústica.

Els amidaments de les unitats funcionals dels elements constructius de façanes, i revestiments exteriors té en compte la part proporcional de consums dels materials emprats en remats, unions, cercols de finestres, etc., per tal de representar la totalitat dels elements emprats i també les diferències que puguin existir entre diferents solucions constructives.

Fonamentació (2 escenaris):



Les dues solucions es basen en una llosa de fonamentació de formigó de 40 cm de gruix amb una armadura d'acer amb una quantia de 70 kg/m³.

Forjat de zona no habitable (pàrquing) en contacte amb el terreny: no té restricció de transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE.

Transmitància tèrmica fonamentació				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Grava	0,2	2	10,0	0,10 m ² K/W
R2 Llosa	0,4	1,67	4,2	0,24 m ² K/W
R3 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R4 Paviment	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,64 m		1,77 W/m ² K	0,6 m ² K/W

Estructura de la part inferior, plantes de pàrquing (dos escenaris):

Les solucions A tenen lloses de formigó armat de 25 cm de gruix i pilars de 30 x 30 cm a les plantes -2 i -1. A planta baixa (sostre de la planta -1) es disposa una llosa de formigó de 30 cm de gruix i pilars de 20 x 60 cm per fer l'estintolament entre les estructures inferior i superior.

Partició entre espais de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica sostre p-2				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Forjat unidireccional	0,25	0,91	3,6	0,27 m ² K/W
R2 Aïllament	0,04	0,037	0,9	1,08 m ² K/W
R3 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R4 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,33 m		0,63 W/m ² K	1,6 m ² K/W

4 cm d'aïllament

Transmitància tèrmica sostre p-1				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Forjat unidireccional	0,25	0,91	3,6	0,27 m ² K/W
R2 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,005	0,04	8,0	0,13 m ² K/W
R5 Aïllament	0,04	0,04	1,0	1,00 m ² K/W
R3 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R4 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,34 m		0,61 W/m ² K	1,6 m ² K/W

4,5 cm d'aïllament

Les solucions B tenen prelloses de formigó prefabricades de 5 + 20 cm (unidireccional), pilars de 30 x 30 cm i bigues amb cercols de 30 x 55 cm (despenjades 30 cm) a la planta -2 i pilars de 30 x 65 cm (40 cm) a la planta -1.

Partició entre espais de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica sostre p-2				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Losa + prelosa	0,25	1,56	6,2	0,16 m ² K/W
R2 Aïllament	0,04	0,037	0,9	1,08 m ² K/W
R3 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R4 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,33 m		0,68 W/m ² K	1,5 m ² K/W

4 cm d'aïllament

Transmitància tèrmica sostre p-1				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Losa + prelosa	0,25	1,56	6,2	0,16 m ² K/W
R2 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,005	0,04	8,0	0,13 m ² K/W
R3 Aïllament	0,04	0,04	1,0	1,00 m ² K/W
R4 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R5 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,34 m		0,66 W/m ² K	1,5 m ² K/W

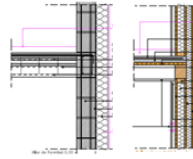
4,5 cm d'aïllament

Nota: la quantia d'acer per a l'armat de la part superior de la prelosa és de 5 kg/m² en barres corrugades i 1 m²/ m² en malla electrosoldada.

Estructura de la part superior, plantes d'habitatge (4 escenaris):

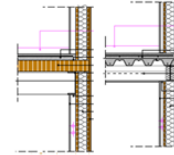
Murs de càrrega:

- A1 - Solució convencional
- A2 - Entramat de fusta



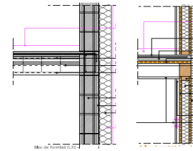
Pòrtics:

- B1 - Metàl·lica i xapa col·laborant
- B2 - Metàl·lica i contralaminat de fusta



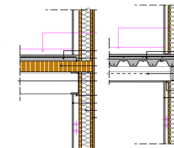
Murs de càrrega:

- A1 - Solució convencional
- A2 - Entramat de fusta



Pòrtics:

- B1 - Metàl·lica i xapa col·laborant
- B2 - Metàl·lica i contralaminat de fusta



La configuració d'aquests escenaris de manera detallada es presenta al final del document, descrita amb les partides del banc BEDEC de l'ITEC.

A continuació, es mostren les capes de l'estructura vertical i horitzontal sobre rasant.

A1 Solució convencional

Estructura vertical

Mur en contacte amb l'exterior: l'acompliment de la transmitància mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Bloc de formigó estructural	0,2	0,92	4,6	0,22 m ² K/W
R2 Replé blocs	0,14	0,8	5,7	0,18 m ² K/W
R3 Arrebossat	0,01	0,55	55,0	0,02 m ² K/W
R4 Aïllament tèrmic	0,1	0,036	0,4	2,78 m ² K/W
R5 Guix	0,01	0,57	57,0	0,02 m ² K/W
R6 Arrebossat exterior	0,01	0,55	55,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,33 m		0,29 W/m ² K	3,4 m ² K/W

10 cm d'aïllament

Partició entre unitats de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur interior (separació vert.)				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Bloc de formigó estructural	0,2	0,92	4,6	0,22 m ² K/W
R2 Replé blocs	0,14	0,8	5,7	0,18 m ² K/W
R3 Arrebossat	0,01	0,55	55,0	0,02 m ² K/W
R4 Aïllament tèrmic	0,02	0,036	1,8	0,56 m ² K/W
R5 Guix	0,01	0,57	57,0	0,02 m ² K/W
R6 Arrebossat exterior	0,01	0,55	55,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,25 m		0,85 W/m ² K	1,2 m ² K/W

2 cm d'aïllament

Estructura horitzontal

Partició entre unitats del mateix ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE: se situa en 1,35 W/m²K.

Transmitància tèrmica forjat				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m ² K/W
Rse Valors CTE				0,04 m ² K/W
R1 Forjat unidireccional	0,25	0,91	3,6	0,27 m ² K/W
R2 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,01	0,04	4,0	0,25 m ² K/W
R3 Morter	0,02	0,55	27,5	0,04 m ² K/W
R4 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m ² K/W
U acumulada	0,30 m		1,33 W/m ² K	0,8 m ² K/W

1 cm d'aïllament

Coberta: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE: se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica coberta				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Forjat unidireccional	0,25	0,91	3,6	0,27 m²K/W
R2 Aïllament tèrmic	0,13	0,034	0,3	3,82 m²K/W
R3 Morter	0,07	0,55	7,9	0,13 m²K/W
R4 Teula ceràmica	0,03	1,3	43,3	0,02 m²K/W
U acumulada	0,48 m		0,23 W/m²K	4,4 m²K/W

13 cm d'aïllament

A2 Solució entramat de fusta

Estructura vertical

Mur en contacte amb l'exterior: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,08	0,036	0,5	2,22 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,015	0,25	16,7	0,06 m²K/W
U acumulada	0,20 m		0,28 W/m²K	3,6 m²K/W

11 cm d'aïllament

Partició entre unitats de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur interior (separació vert.)				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,05	0,036	0,7	1,39 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,013	0,25	19,2	0,05 m²K/W
U acumulada	0,16 m		0,36 W/m²K	2,8 m²K/W

8 cm d'aïllament

Estructura horitzontal

Partició entre unitats del mateix ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 1,35 W/m²K.

Transmitància tèrmica forjat				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R6 Placa de guix	0,03	0,25	8,3	0,12 m²K/W
R2 Aïllament tèrmic	0,05	0,034	0,7	1,47 m²K/W
R3 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	9,5	0,10 m²K/W
R4 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,01	0,04	4,0	0,25 m²K/W
R4 Subase grava	0,08	2	25,0	0,04 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,015	0,036	2,4	0,42 m²K/W
R2 Placa de cartró guix (Fermacell)	0,03	0,25	8,3	0,12 m²K/W
U acumulada	0,24 m		0,37 W/m²K	2,7 m²K/W

6,5 cm d'aïllament

Coberta: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica coberta				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Revestiment tipus teula	0,03	1,3	43,3	0,02 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	9,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,14	0,034	0,2	4,12 m²K/W
R4 Placa de guix	0,03	0,25	8,3	0,12 m²K/W
U acumulada	0,22 m		0,22 W/m²K	4,5 m²K/W

14 cm d'aïllament

B1 Solució estructura metàl·lica més xapa col·laborant

Estructura vertical

Mur en contacte amb l'exterior: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,08	0,036	0,5	2,22 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,015	0,25	16,7	0,06 m²K/W
U acumulada	0,20 m		0,28 W/m²K	3,6 m²K/W

11 cm d'aïllament

Partició entre unitats de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur interior (separació vert.)				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,05	0,036	0,7	1,39 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,013	0,25	19,2	0,05 m²K/W
U acumulada	0,16 m		0,36 W/m²K	2,8 m²K/W

8 cm d'aïllament

Estructura horitzontal

Partició entre unitats del mateix ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 1,35 W/m²K.

Transmitància tèrmica forjat				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Placa de guix	0,015	0,25	16,7	0,06 m²K/W
R2 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,24			0,17 m²K/W
R3 Formigó compressió	0,1	2,3	23,0	0,04 m²K/W
R4 Xapa metàl·lica col·laborant	0,02	300	15000,0	0,00 m²K/W
R5 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,01	0,04	4,0	0,25 m²K/W
R6 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,003	0,04	13,3	0,08 m²K/W
R7 Morter	0,02	0,55	27,5	0,00 m²K/W
R8 Paviment ceràmic	0,02	1	50,0	0,02 m²K/W
U acumulada	0,43 m		1,27 W/m²K	0,8 m²K/W

1,3 cm d'aïllament

Coberta: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica coberta				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Placa de guix	0,015	0,25	16,7	0,06 m²K/W
R2 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,1			0,17 m²K/W
R3 Formigó compressió	0,1	2,3	23,0	0,04 m²K/W
R4 Xapa metàl·lica col·laborant	0,02	300	15000,0	0,00 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,13	0,034	0,3	3,82 m²K/W
R6 Morter	0,06	0,55	9,2	0,11 m²K/W
R7 Teula ceràmica	0,03	1,3	43,3	0,02 m²K/W
U acumulada	0,46 m		0,23 W/m²K	4,4 m²K/W

13 cm d'aïllament

B2 Solució estructura metàl·lica + plafons contralaminats de fusta

Estructura vertical

Mur en contacte amb l'exterior: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,08	0,036	0,5	2,22 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,015	0,25	16,7	0,06 m²K/W
U acumulada	0,20 m		0,28 W/m²K	3,6 m²K/W

11 cm d'aïllament

Partició entre unitats de diferent ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,95 W/m²K.

Transmitància tèrmica mur interior (separació vert.)				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler de fibres (OSB)	0,02	0,13	6,5	0,15 m²K/W
R2 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R3 Aïllament tèrmic	0,05	0,036	0,7	1,39 m²K/W
R4 Contraxapat de fusta	0,02	0,21	10,5	0,10 m²K/W
R5 Aïllament tèrmic	0,03	0,036	1,2	0,83 m²K/W
R6 Cambra d'aire lleugerament ventilat	0,01			0,00 m²K/W
R7 Placa de guix	0,013	0,25	19,2	0,05 m²K/W
U acumulada	0,16 m		0,36 W/m²K	2,8 m²K/W

8 cm d'aïllament

Estructura horitzontal

Partició entre unitats del mateix ús: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 1,35 W/m²K.

Transmitància tèrmica forjat				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Tauler fusta contralaminada (CLT)	0,12	0,21	1,8	0,57 m²K/W
R2 Làmina antiimpacte (Impactodan)	0,01	0,04	4,0	0,25 m²K/W
R3 Subase grava	0,08	2	25,0	0,04 m²K/W
R4 Aïllament tèrmic	0,1	0,036	0,4	2,78 m²K/W
R5 Placa de cartró guix (Fermacell)	0,03	0,25	8,3	0,12 m²K/W
U acumulada	0,34 m		0,25 W/m²K	3,9 m²K/W

10 cm d'aïllament

Coberta: l'acompliment de la transmitància tèrmica mínima (U) segons els requisits del DB-HE1 del CTE se situa en 0,29 W/m²K.

Transmitància tèrmica coberta				
	gruix	conductivitat	transmitància	resistència
Rsi Valors CTE				0,13 m²K/W
Rse Valors CTE				0,04 m²K/W
R1 Revestiment tipus teula	0,03	1,3	43,3	0,02 m²K/W
R2 Aïllament tèrmic	0,12	0,034	0,3	3,53 m²K/W
R3 Tauler fusta contralaminada (CLT)	0,12	0,21	1,8	0,57 m²K/W
U acumulada	0,27 m		0,23 W/m²K	4,3 m²K/W

12 cm d'aïllament

Nota: en alguns casos els murs interiors lleugers superen l'exigència tèrmica però s'augmenta la quantia d'aïllant pel l'acompliment dels requisits acústics.

Façana (7 escenaris)

Tot i que en l'anterior anàlisi estructural ja s'han considerat els murs de tancament, es realitza aquest apartat complementari.

S'analitzen aquí en major detall més tipus de façanes que seria possible aplicar en aquest cas d'estudi i, en general, en tancaments de construccions actuals. Des de murs ceràmics, de formigó o fusta, a panells prefabricats tipus sandvitx en diverses modalitats.

L'organització és coherent amb la classificació anterior, obrint la possibilitat de fer murs de càrrega o només de tancament amb pòrtics. A més, la classificació de les façanes té en compte si es realitzen in situ o si es prefabriquen a taller (fet que influeix a l'anàlisi qualitatiu final de cada sistema).

En aquest cas, es considera l'entramat de fusta (també anomenat balloon frame) com una façana in situ tot i que podria realitzar-se en panells a fàbrica i ser traslladada per parts a l'obra.

El material aïllant es col·loca per l'interior perquè es considera útil pel pas d'instal·lacions a alguns dels sistemes plantejats i, d'aquesta manera, s'igualen en prestacions.

Murs de càrrega:

In situ

In 1 - Solució convencional

In 2 a - Termoargila 24cm

In 3 - Baloon Frame

Pòrtics:

In situ

In 2 a/b - Termoargila 24/19cm

In 3 - Baloon Frame

Prefabricat

Pref 1 - Panell Sandwich (amb rastells)

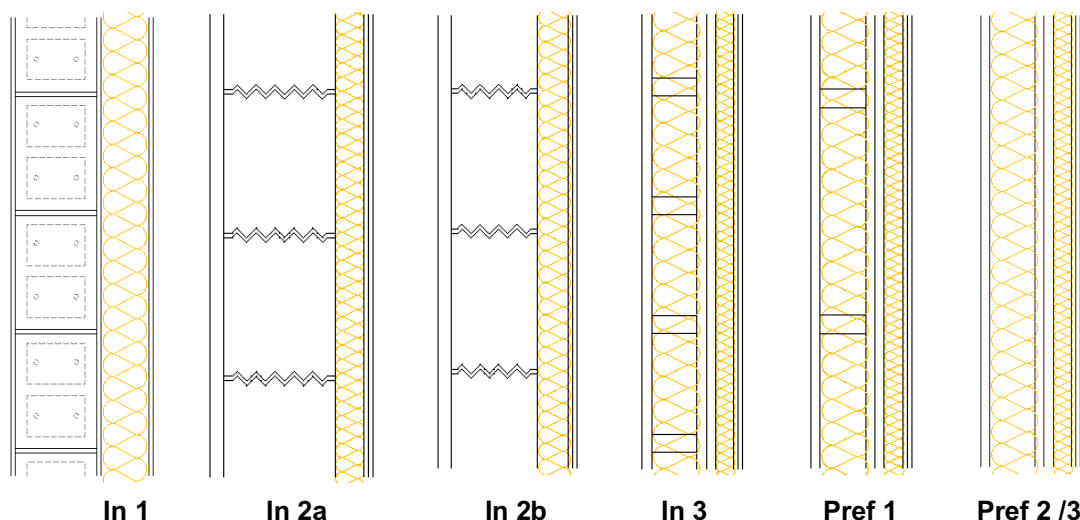
Pref 2 - Panell Sandwich (tipus Termochip)

Pref 3 - Panell Sandwich (tipus Termochip amb fibra de fusta sense rastells)

Acabats*

FV amb diversa possibilitat d'acabats

A continuació, es mostren les seccions constructives i les capes que configuren les diferents façanes que s'han analitzat. Entre el marge esquerrà i el centre s'ubiquen els sistemes convencionals (obra de fàbrica de blocs i maons, junta humida). Entre el centre i el marge dret es mostren les solucions amb més processos industrialitzats incorporats (plafons parcial o completament muntats a fàbrica, juntes seques).



In 1. Solució convencional bloc formigó

	espessor	conductivitat	transmitància	resistència	
Bloc de formigó estructural (replé)	0,2	0,92	4,6	0,22 m2K/W	
Arrebossat	0,01	0,55	55,0	0,02 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta rígid	0,12	0,04	0,3	3,00 m2K/W	12 cm d'aïllament
Guix	0,01	0,8	80,0	0,01 m2K/W	
Arrebossat de cal	0,01	0,55	55,0	0,02 m2K/W	
U acumulada	0,35 m		0,29 W/m2K	3,4 m2K/W	

In 2a. Solució Termoargila de 24 cm de guix

	espessor	conductivitat	transmitància	resistència	
Arrebossat de termocal	0,03	0,045	1,5	0,67 m2K/W	
Termoargila 24 cm	0,24	0,28	1,2	0,86 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,06	0,036	0,6	1,67 m2K/W	9 cm d'aïllament
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,36 m		0,29 W/m2K	3,4 m2K/W	

In 2b. Solució Termoargila de 19 cm de guix

	espessor	conductivitat	transmitància	resistència	
Arrebossat de termocal	0,025	0,045	1,8	0,56 m2K/W	
Termoargila 19 cm	0,19	0,28	1,5	0,68 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,07	0,036	0,5	1,94 m2K/W	9,5 cm d'aïllament
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,31 m		0,29 W/m2K	3,4 m2K/W	

In 3. Solució entramat de fusta o balloon frame

	espessor	conductivitat	transmitància	resistència	
Llàmina vapor (barrera de vent)	3,5 micra				
Fusta OSB o SuperPan	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Fusta Aglomerat (exterior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,1	0,036	0,4	2,78 m2K/W	14 cm d'aïllament
Fusta OSB (interior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,04	0,036	0,9	1,11 m2K/W	per acústica ?
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,23 m		0,22 W/m2K	4,6 m2K/W	

Nota: per a les opcions de panel sandvitx, s'han inclòs tres variants: un panel Sandwich fet a mida amb taulers de fusta i fibres naturals no rígides a l'interior i per tant amb necessitat de rastells, un altre panel Sandwich tipus Thermochip que normalment té XPS rígid a l'interior i que no necessita rastells i, per últim, un altre panel Sandwich tipus Thermochip però amb aïllant de fibra de fusta rígida que tampoc necessita rastells.

Pref 1. Solució panel sandvitx (amb rastells)

Llàmina vapor (barrera de vent)	3,5 micra				
Fusta OSB o SuperPan	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Fusta Aglomerat (exterior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,1	0,036	0,4	2,78 m2K/W	14 cm d'aïllament
Fusta OSB (interior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,04	0,036	0,9	1,11 m2K/W	per acústica ?
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,23 m		0,22 W/m2K	4,6 m2K/W	

Pref 2. Solució panel sandvitx (tipus Thermochip amb nucli de poliestirè extruït)

Llàmina vapor (barrera de vent)	3,5 micra				
Fusta OSB o SuperPan	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Fusta Aglomerat (exterior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de XPS	0,1	0,031	0,3	3,23 m2K/W	14 cm d'aïllament
Fusta OSB (interior)	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,04	0,036	0,9	1,11 m2K/W	per acústica ?
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,23 m		0,20 W/m2K	5,0 m2K/W	

Pref 3. Solució panel sandvitx (tipus Thermochip amb fibres naturals)

Llàmina vapor (barrera de vent)	3,5 micra				
Fusta OSB o SuperPan	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Fusta Aglomerat (exterior)	0,02	0,15	7,5	0,13 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta rígida	0,1	0,04	0,4	2,50 m2K/W	14 cm d'aïllament
Fusta OSB (interior)	0,02	0,13	6,5	0,15 m2K/W	
Aïllament de fibres de fusta	0,04	0,036	0,9	1,11 m2K/W	Per acústica ?
Plaques de Fermacell	0,025	0,31	12,4	0,08 m2K/W	
U acumulada	0,23 m		0,23 W/m2K	4,3 m2K/W	

Nota: per reduir l'aïllament interior fins a 6-7 cm en el cas de la solució amb blocs de Termoargilla de 29 cm de gruix, es fa un arrebossat aïllant de Thermocal (morter de calç amb granulat de suro) ja que no es volia superar l'espessor de 35 cm. L'aïllant de Thermocal té una conductivitat superior respecte d'altres morters aïllants de calç i suro o de calç i canem / fibres. Les plaques de cartró guix aglomerat Fermacell de revestiment interior s'han igualat a totes les solucions per ajudar al compliment acústic en les solucions de fusta. A les solucions d'entramat de fusta o balloon frame i panel sandvitx, tot i que amb 10 cm d'aïllament es compleix l'exigència tèrmica, s'ha d'introduir 4 cm més d'aïllament a l'interior per necessitats acústiques. La diferència establerta entre els sistemes d'entramat de fusta i panell sandvitx, a banda de la seva fabricació, es l'estructura. A l'entramat de fusta s'han considerat 4 rastells verticals i un de diagonal per cada m2 de tancament (tal com al mur estructural d'entramat de fusta considerat en l'anterior anàlisi). I al tancament de panel sandvitx s'han comptat 2 rastells verticals per m² (Pref. 1).

Revestiments (10 escenaris)

Els acabats s'analitzen per separat (les façanes compleixen els requisits tèrmics, acústics i de salubritat per si mateixes) ja que qualsevol façana pot ser ventilada i amb moltes variacions d'acabats. Així, analitzar-se els revestiments de manera separada, es poden combinar els resultats de totes les façanes amb els acabats. La configuració és la següent.

1 – Xapa metàl·lica

Perfil ondulat de planxa d'alumini anoditzat de 1 mm de gruix, perforat amb un coeficient del 11% de la seva superfície, i subestructura de perfils d'alumini (es considera un 30% de la xapa reciclada, estàndard al mercat).

1b – Xapa metàl·lica reciclada

Perfil ondulat de planxa d'alumini anoditzat de 1 mm de gruix, perforat amb un coeficient del 11% de la seva superfície i subestructura de perfils d'alumini (es considera un 80% de la xapa reciclada, possible al mercat).

2 – Plafó Aquapanel + arrebossat de calç

Placa de ciment i fibres alleugerida de 12,5 mm de gruix i subestructura de perfils d'acer galvanitzat. S'acaba amb un arrebossat de morter de calç de 10 mm per a la protecció de la placa i les juntes.

3 – Llistons de fusta

Llistons de fusta de 140 x 22 mm, cargolats per la cara interior a l'entramat de rastells de fusta de 40 x 40mm. Els llistons tenen tractament per l'exterior amb un nivell de penetració NP2 de lasur (comptant 4 capes).

4 – Tauler fenòlic

Tauler de resines fenòliques laminat a alta pressió (HPL) de 8mm de gruix per a exteriors i subestructura de perfils d'alumini.

5 – Peces de ceràmica

Plaques ceràmiques, d'una cara vista, de 3 cm de gruix, col·locades amb grapes d'acer inoxidable per a fixació oculta sobre estructura de suport de perfils d'alumini, formada per elements verticals de secció tipus T.

6 – Peces de gres

Plaques de gres porcellànic premsat, de 15 mm de gruix, de 25 kg/m² de pes, col·locades amb grapes d'acer inoxidable per a fixació oculta sobre estructura de perfils d'alumini, formada per elements verticals de secció tipus T.

7 – Tauler de fibrociment

Tauler de fibrociment NT de 8 mm de gruix exterior i perfils d'acer galvanitzat.

8 – Tauler de fusta - ciment (tipus Viroc)

Tauler d'aglomerat de fusta i ciment de 12 mm de gruix i subestructura de perfils d'alumini.

9 – Tauler de fusta

Plafons de fusta contralaminada de 35 mm de gruix, cargolats a l'entramat de rastells de fusta de 40 x 40mm. Els plafons tenen tractament per l'exterior amb un nivell de penetració NP2 de lasur (comptant 4 capes per considerar el manteniment de la fusta).

Nota: s'ha considerat només la subestructura de fusta als acabats de fusta però, es podria combinar aquesta estructura amb la majoria dels altres elements. També es poden cercar peces de gres y ceràmica reciclada al mercat, com a possible millora de les solucions més pesades. L'acabat de l'Aquapanel considerat ha sigut l'arrebossat, que és una de les solucions que es planteja l'empresa fabricant a Knauf tot i que n'hauria d'altres possibles.

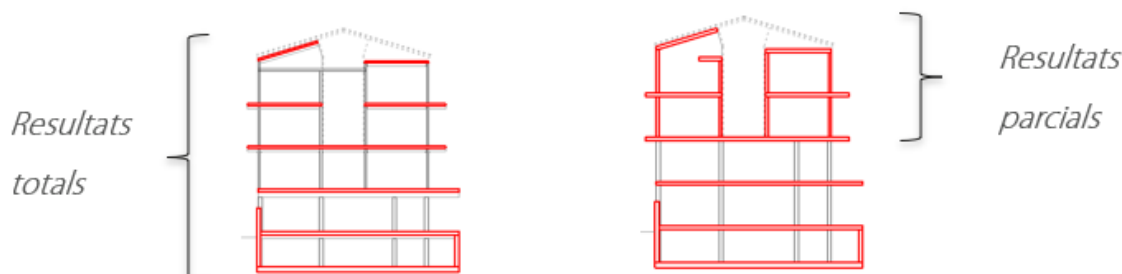
El lasur aplicat als elements exteriors de fusta s'ha comptat 4 vegades, considerant el manteniment normal dels elements a la seva vida útil. S'ha estimat un lasur natural sense emissions de compostos orgànics volàtils (COV's).

El contingut de material reciclat considerat a les subestructures d'acer galvanitzat es del 30% i a les d'alumini és del 15%. Es tracta dels estàndards actual del mercat. La xapa ondulada d'alumini anoditzat, usualment, conté material reciclat del 30% del total i la xapa anomenada reciclada, consultant empreses que la realitzen, situa el seu contingut de material reciclat al voltant d'un 80%.

Teòricament la calç si seria un element reciclable tot i que sigui barrejada per a morter però, el fet d'aplicar-la sobre la placa de Aquapanel o en capes intermediàries la fa aquest procés tècnicament inviable. Per tant, no s'ha considerat com a un material que pugui tancar cicles.

Presentació dels resultats

Degut a la classificació diferent entre les plantes sota rasant (pàrquing) respecte a les plantes sobre rasant (habitatge), es presentaran els resultats totals de tots els sistemes comparats amb els resultats parcials de només les dos plantes superiors. D'aquesta manera es pot veure el pes de les plantes inferiors (només dos sistemes, A i B) respecte dels diferents sistemes de les plantes superiors (quatre sistemes, A1, A2, B1 i B2):



3.3. Límits del sistema: fases del cicle de vida (a l'ACV) i impactes ambientals

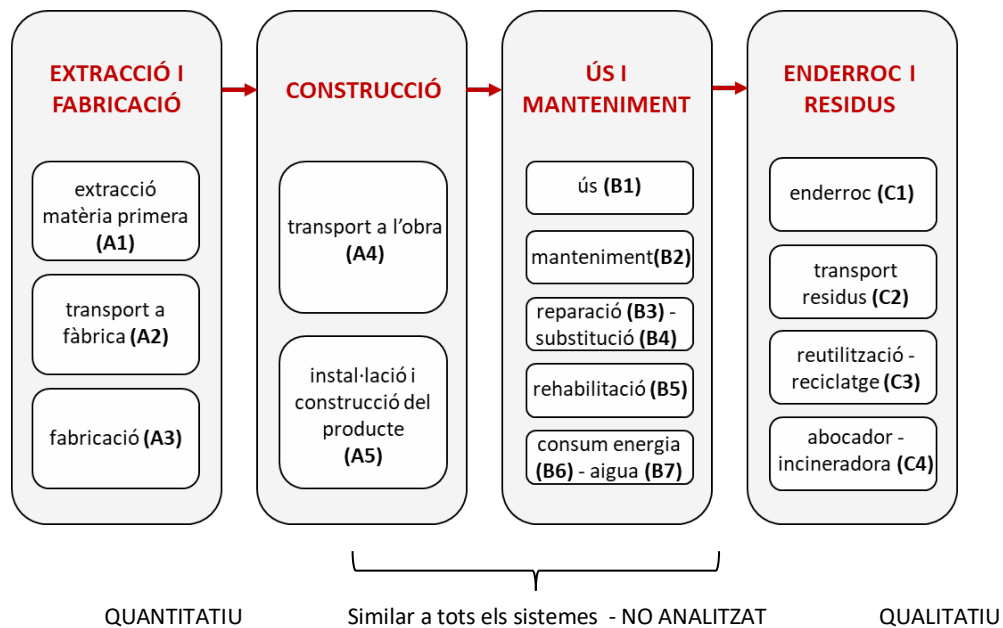
Fases del cicle de vida

L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) és una metodologia que estudia i avalua l'impacte ambiental d'un producte o servei durant totes les etapes de la seva existència, establint un balanç ambiental. Les etapes que inclou, de manera sintetitzada són:

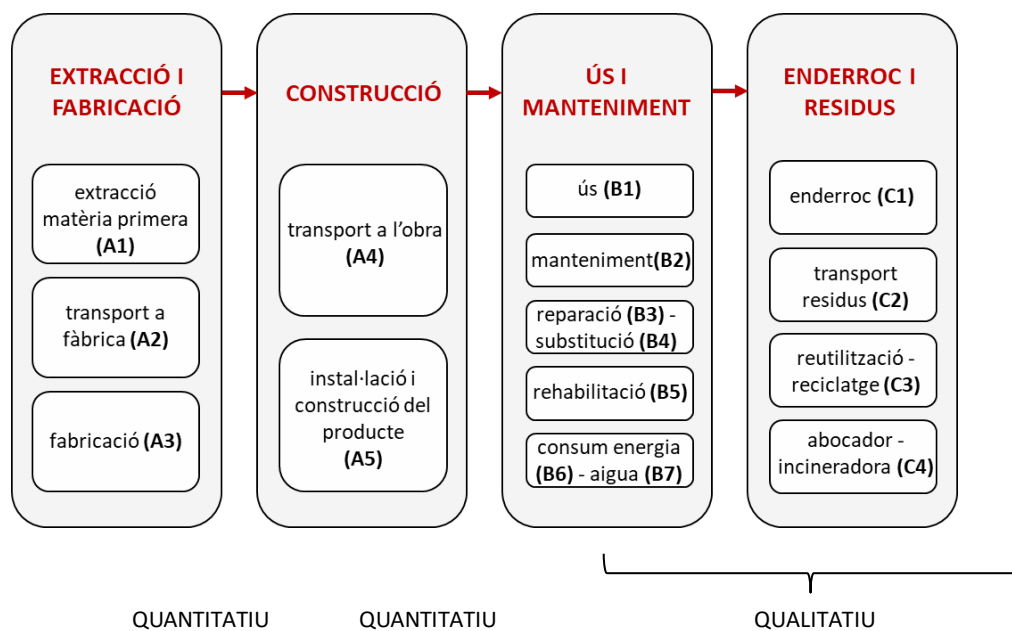
- Extracció de les matèries primes i fabricació dels materials
- Transport del producte a l'obra
- Procés d'instal·lació del producte i construcció
- Ús i manteniment
- Enderroc
- Gestió de residus (transport i abocament o valorització)

Si es consideren totes aquestes fases del cicle de vida, es tractaria d'una anàlisi *Cradle to cradle*¹ (de principi a fi). En canvi, les fases que s'han tingut en compte han estat les de *Cradle to site*, és a dir, des del bressol o l'extracció de matèries primeres fins l'obra (A1-A3 segons la norma ISO 14040, a la imatge inferior). Es tracta d'un ACV simplificat. No es considera de manera quantitativa l'ús de l'edifici, ni les etapes posteriors fins a la gestió de residus, però, si es consideren aquestes etapes de manera qualitativa (possibilitats de reciclatge o infraciclatge), o la qualitat dels materials de tancar cicles a la fase d'enderroc (D). Les etapes del cicle de vida, des de l'A1 fins la D que s'analitzen en aquest estudi, de manera quantitativa o qualitativa, es mostren en el gràfic resum de a continuació.

¹ Del bressol al bressol.



Aquest segon gràfic mostra l'anàlisi dels capítols de façana i acabats.



S'han analitzat aquestes etapes ja que des del punt de vista dels materials de construcció són les que generen amb diferència un impacte major i, per altra banda, és de les quals es poden obtenir dades de forma senzilla, generalitzada i contrastable.

Impactes ambientals

Els indicadors d'impacte ambiental utilitzats en l'anàlisi d'aquestes fases, han estat:

- **Pes** (kg/m²): la quantitat de recursos nous utilitzats, els materials de cada solució constructiva.
- **MIPS** (kg recursos/m²): o intensitat de material per unitat de servei per les seves inicials en anglès, representa la quantitat total de recursos emprats en la fabricació d'un producte (comptant tots els residus, sobrants d'altres materials,...).
- **Emissions de carboni o carboni incorporat** (kgCO₂/m²): diòxid de carboni emès a la producció dels materials per unitat de servei. El CO₂ és el gas més representatiu per a l'avaluació de l'efecte hivernacle que causa el canvi climàtic.
- **Energia primària consumida o incorporada** (MJ/m²): despesa energètica vinculada a la producció (extracció + fabricació) dels materials.
- **Residus d'obra** (kg residus/m²): quantitat de residus generats per la construcció de l'obra nova així com els embalatges dels elements transportats a aquesta.
- **Reciclat** (% de material reciclat, en massa, respecte al seu pes total): contingut de matèria prima reciclada d'un material que entra a l'obra, en la seva producció.
- **Reciclable** (% de material reciclable, en massa, respecte del seu pes total): possibilitat efectiva de reciclar o infraciclar (amb qualitats inferiors a les originals) un material al final de la seva vida útil o la desconstrucció de l'obra.
- **Tancament de cicle de vida** (kg/m²): possibilitat d'un material de ser contínuament reciclable i poder ser reutilitzat amb les mateixes prestacions inicials.

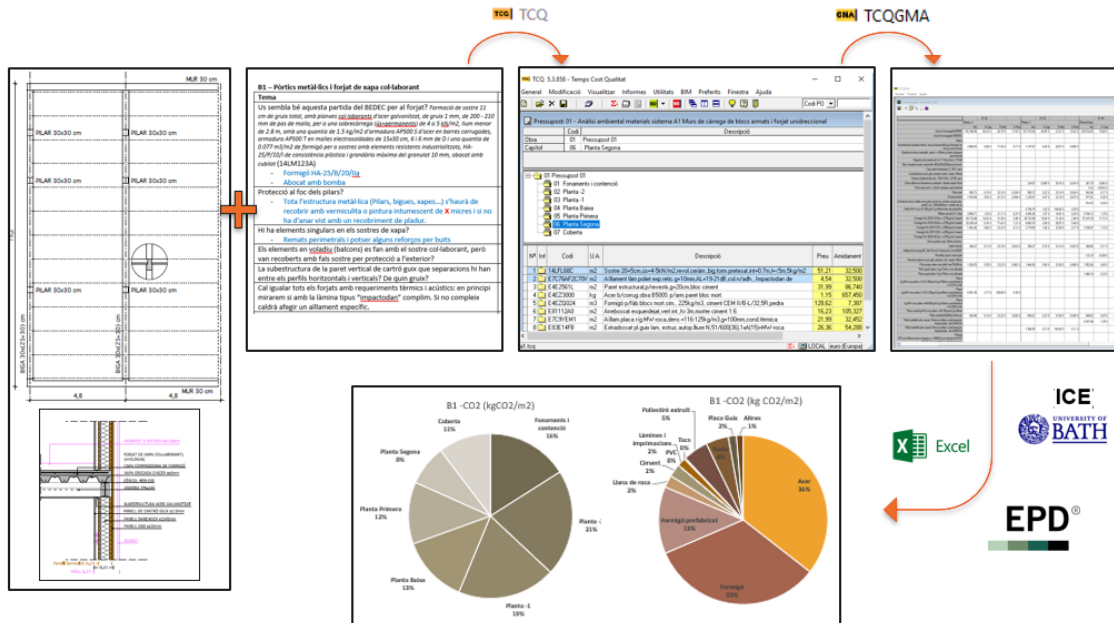
Aquest indicadors han estat escollits per tal de representar de la manera més adequada l'avaluació i els resultats conforme als objectius de l'estudi. I, d'altra banda, perquè existeixen prou dades assequibles provinents de fonts reconegudes com per representar-los amb prou rigor. També perquè es considera que, tenint en compte l'estat inicial d'aquests en que es troben aquests tipus d'estudis, és recomanable emprar pocs indicadors fàcilment reconeguts i recognoscibles pel sector de l'edificació en particular i la societat en general.

Per tal de fer comparables les diferents solucions a tots els indicadors la unitat funcional comparativa és de superfície, 1 m² de solució constructiva, i no de pes. Aquesta unitat funcional constructiva és la més generalitzada al sector de la construcció quan es mostren preus, repercussions econòmiques o impactes ambientals.

Com establir l'impacte ambiental

L'impacte ambiental de cada escenari s'obté a partir dels següents passos:

- Fer reunions amb els arquitectes i la constructora per definir tipus de solucions i les capes de materials de cada escenari o alternativa constructiva assajada.
- Igualar els escenaris en quant al compliment normatiu del CTE (requeriments acústics, tèrmics, estructurals, de protecció al foc, etc.).
- Realitzar els amidaments (definicions dels elements constructius) per a cada escenari d'alternatives constructives per partides mitjançant el programa TCQ i el banc BEDEC de l'ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya).
- Associar, a cada amidament o unitat constructiva, l'impacte ambiental mitjançant el programa TCQGMA (també de l'ITEC) que inclou les dades ambientals dels materials. Incloure els impactes que no conté el banc BEDEC utilitzat pel programa.
- Contrastar la informació amb altres fonts de d'informació com ICE (Inventari de carboni i energia, Universitat de Bath), DAPc (Declaracions Ambientals de Productes de la construcció) de fabricants locals, acceptant i/o modificant els valors incoherents.
- Organitzar la informació i produir taules i gràfics de síntesi amb el programa Excel.
- Realitzar l'anàlisi dels resultats i elaborar les conclusions de l'estudi.



3.4. Fonts i bases de dades ambientals

Les fonts utilitzades per al càlcul de l'impacte ambiental dels materials a la fase d'extracció, fabricació i construcció han estat el banc de preus i dades ambientals BEDEC de l'ITeC mitjançant el programa TCQGMA, contrastat amb el banc de dades ambientals ICE de la Universitat de Bath i les DAPc dels propis fabricants (quan es troben disponibles). Per a les dades de l'indicador MIPS, s'ha consultat el Wuppertal Institute d'Alemanya que analitza i publica aquest tipus d'informació periòdicament.

Per a les fases qualitatives de l'ACV, ja que es tracta d'una anàlisi simplificada, de manteniment, enderroc i residus s'han fet servir dades de la pròpia experiència dels arquitectes, dades pròpies de recerca i d'altres projectes i treballs de recerca a les universitats com la tesi "La sostenibilitat en la construcció industrialitzada" del Gerardo Wadel.

Per revisar la coherència dels resultats totals i comparar-les amb edificis de referència, s'ha consultat un treball realitzat al voltant del 2002 pel ja desaparegut CIES (*Centre d'Iniciatives per l'Edificació Sostenible*) i amb dades de la tesi abans esmentada de Gerardo Wadel. És important tenir en compte que, a banda d'aquest estudi de principis del 2000, no s'ha realitzat cap treball exhaustiu sobre l'impacte dels materials de construcció a l'edificació per tipologies d'edificació. Per tant, també es tracta d'aportar escenaris de referència i poder actualitzar-los amb més estudis.

4. Resultats

Extracció i fabricació + transport

Com s'ha explicat anteriorment, en aquestes etapes del cicle de vida es considera quins impactes suposa l'extracció i la fabricació dels materials així com el seu transport a l'obra. Però, com que la repercussió del transport sol representar només un 1% al total de cicle de vida, tan en energia com en emissions de CO₂, se'l desestima. A més, tots aquests sistemes, podrien ser subministrats a nivell local-nacional si es proposés i resultaria un impacte inferior.

Als capítols de fonamentació i estructura s'ha considerat la superfície útil de la unitat funcional analitzada (ja que es una llesca o secció real del projecte) alhora d'expressar els impactes resultants per unitat de superfície (m²) de sostre. A més, aquests resultats s'expressen en valors parcials (les dos últimes plantes d'habitatge) i valors totals (totes les plantes, pàrquing, PB i habitatge) conjuntament per detectar el pes de la fonamentació i de les plantes sota rasant respecte dels superiors, amb escenaris diferents. A la part esquerra es mostren els resultats totals i a la part dreta, els parcials. Al capítol de façanes i revestiments, els resultats no tenen aquesta divisió ja que són expressats per unitat de superfície de tancament i no de sostre.

Per últim, també s'analitza l'afectació que té cada capítol sobre el total d'un hipotètic edifici acabat. Com a referència, es té l'estudi CIES (Centre d'Iniciatives per a la Construcció Sostenible, una associació coparticipada per universitats, instituts tecnològics i col·legis professionals) que va establir els valors d'impacte ambiental mitjans per a diferents tipologies d'edificació de Catalunya. Segons aquest estudi, l'edifici tindria els impactes següents:

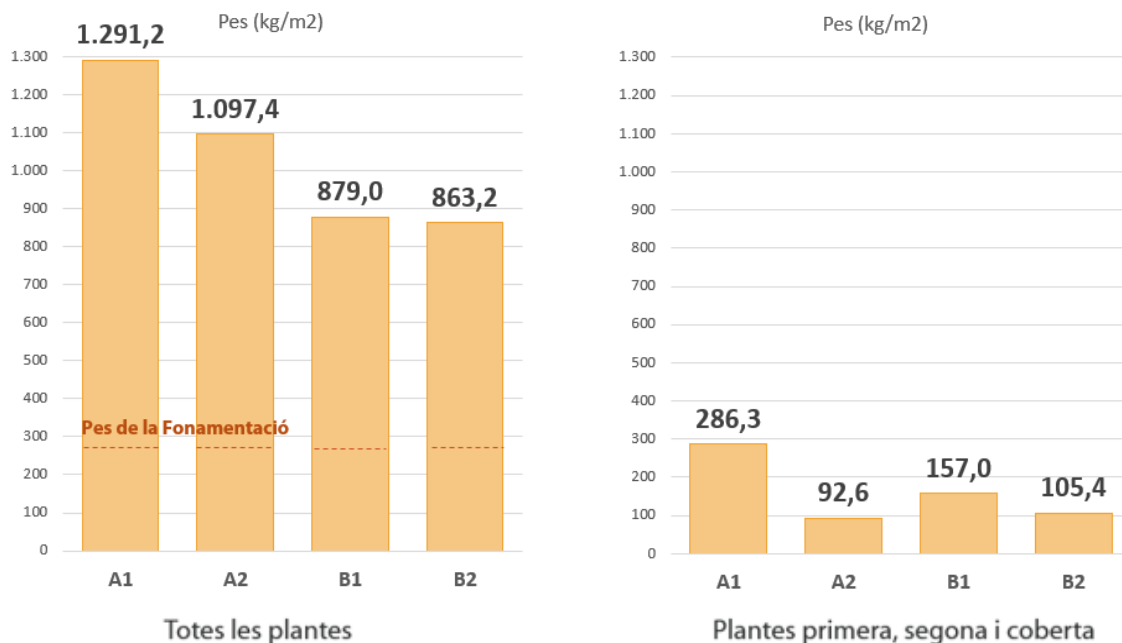
Impactes	PES	MIPS	CARBONI INCORPORAT	RESIDUS	ENERGIA
Font: CIES	2300 kg/m2	6000 kg/kg total m2	800 kg CO2/m2	12,5 kg/m2	MJ/m2

Prenent aquestes dades com a referència, es pot esbrinar quina repercussió té cada decisió sobre les diferents parts de l'edifici del total hipotètic i, posar en ordre la rellevància de cada escenari considerat. Es presenten, doncs, les dades d'aquesta part del cicle de vida:

PES

El pes ens fa entendre la quantitat de recursos nous que es consumeixen. Els valors totals de les solucions s'expressen al damunt de cada barra groga en kg/m². El pes de la fonamentació respecte als resultats totals de l'estructura es grafia amb unes línies horitzontals puntejades en marró.

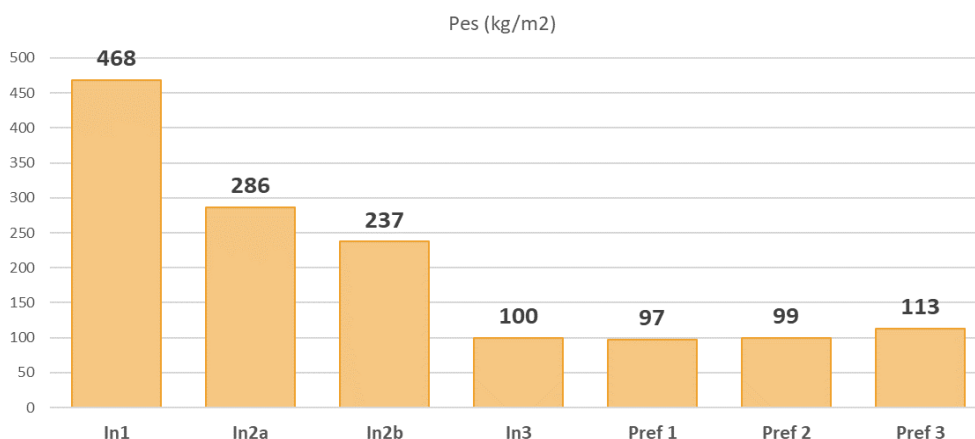
Fonamentació i estructures



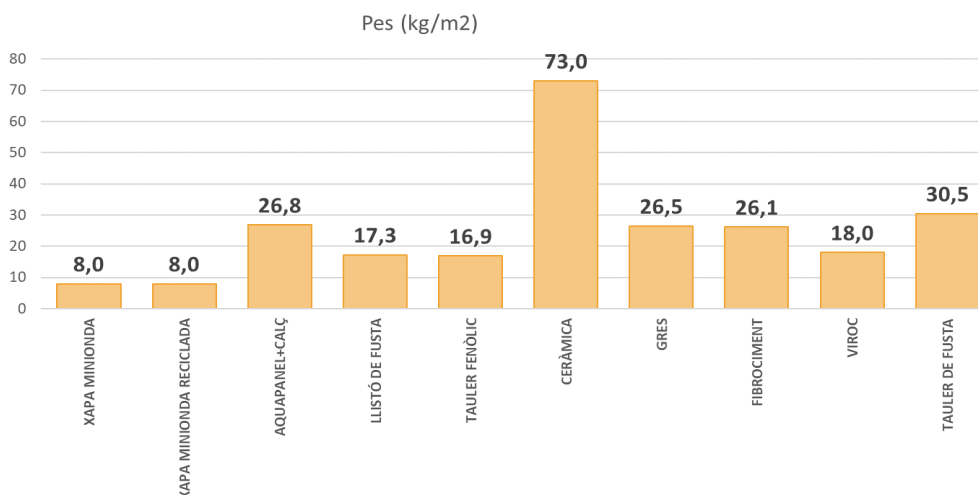
Com podem observar a nivell d'edifici, els sistemes de mur de càrrega, solucions A, tenen major pes que els B, degut a la seva quantitat de formigó a l'estructura. En canvi, els sistemes B1 i B2 són de pes inferior per la seva estructura d'acer, que representa menys materials emprats (tot i que la densitat de l'acer és superior a la del formigó). Tot i així, ambdós materials conformen estructures pesades, ja que si comparem aquests valors situats entre 1.300 kg/m² i 850 kg/m², representen entre el 56% i el 37% dels valors mitjos totals d'un edifici d'habitatges de referència (2.300 kg/m², edifici acabat). El pes de la fonamentació representa una part important ja que es tracta d'una llosa amb un gruix considerable i murs de contenció: representant respecte a la solució més pesada, un 21% i, respecte a la més lleugera, un 31%. A nivell dels pisos superiors, on les estructures són totes diferents, podem veure com són els sistemes de fusta A2 i B2 els que tenen menys pes per la seva estructura de fusta, la densitat d'aquest material és més baixa enfront de les altres opcions (7.800, 2.500 i 400-700 kg/m³ respectivament per acer, formigó i fusta). Aquestes plantes superiors d'habitatge són més significants en la solució A1, que representa un 22% respecte al pes total de totes les plantes, i menys rellevants en la solució A2, amb només un 9% del mateix total. Si els comparem amb el pes total de l'edifici final de referència (CIES), representarien valors des del 4% fins al 12%, valors més baixos però, encara rellevants.

CAPÍTOLS	Fonamentació	Estructura sota rasant + baixa	Estructura sobre rasant
Repercussió respecte a edifici final CIES	21-31 %	21-32 %	9-22 %

Façanes



Revestiments

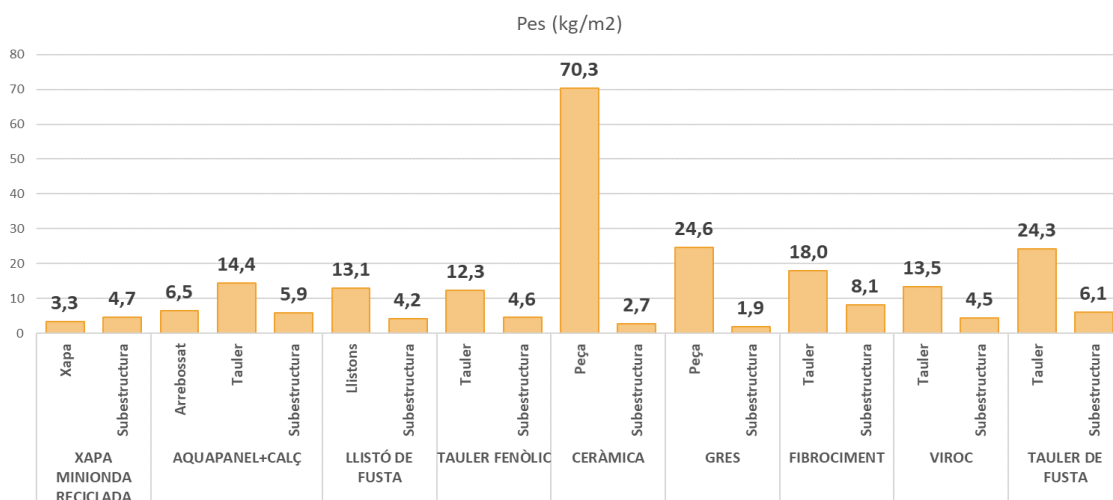


Comparant les dues gràfiques de façanes i revestiments, podem comprovar com el pes dels revestiments finals sobre les façanes, tot i que són inferiors, representen un 30% de mitjana però amb un ventall que va des d'un 5% fins a un 70%. A les façanes hi ha una clara diferenciació entre els sistemes més industrialitzats i de fusta respecte de les solucions d'obra de fàbrica in situ, com són la ceràmica i el bloc de formigó. També, aquestes últimes són les més gruixes, de més de 30 cm, enfront dels 23 cm de les solucions In.3, Pref.1, Pref.2 i Pref.3. La solució que destaca amb 3 vegades el pes mitjà respecte a la resta és la In.1, amb 468 kg/m² enfront 97 kg/m² de la solució Pref.1 (amb rastells i manta de fibra de fusta, no rígida).

Respecte als acabats, les solucions amb gruixos superiors són les més pesades per contenir una major quantitat de materials. Per tant, la solució ceràmica resulta la més pesada i densa, amb 40 mm de gruix. A continuació la resta de solucions es troba molt igualada. Entre els sistemes amb taulers, la més pesada és la de fusta pel major gruix dels panells i la major quantitat de material per a la subestructura. A la solució de plaques de fibra i ciment (Aquapanel) la raó és la incorporació d'una capa d'arrebossat de calç que augmenta el gruix del material. També les solucions de peces de gres i fibrociment són lleugerament superiors en pes a les de taulers fenòlics, tipus Viroc i llistons de fusta. Les solucions de fusta, tot i que tenen gruixos superiors als altres taulers, de 22 mm i 35 mm, són menys pesades que les solucions pètries a causa de la seva menor densitat material. Per últim, la xapa es la solució més lleugera ja que, a més de ser perforada, té un gruix reduït de 1 mm. A continuació, un resum dels sistemes.

FAÇANES	<u>Gruixos revestiments</u> 1. Bloc formigó: 35 cm 2. Termoargila 24: 36 cm 3. Termoargila 19: 31 cm 4. Entramat de fusta: 23 cm 5. Panell sandvitx amb rastells: 23 cm 6. Panell sandvitx rígid amb XPS: 23 cm 7. Panell sandvitx rígid amb fibra de fusta: 23 cm	<u>L'aïllament (de fibra fusta)</u> 1. Rígid: 12 cm 2. Manta: 6 cm 3. Manta: 7 cm 4. Manta: 14 cm 5. Manta: 14 cm 6. XPS: 10 cm + Manta: 4 cm 7. Rígid: 10 cm + Manta: 4 cm
REVESTIMENTS	<u>Gruixos plaques / peces</u> 1. Xapa metàl·lica: 1mm 2. Aquapanel: 1,25 cm + arrebossat de calç 3. Llistons: 2,2 cm 4. Tauler fenòlic: 8 mm 5. Peça ceràmica: 4 cm 6. Peça gres: 2 cm 7. Plafó fibrociment: 8 mm 8. Plafó Viroc: 1,2 cm 9. Tauler CLT: 3.5-4 cm	<u>Les subestructures</u> 1. Alumini 2. Acer 3. Fusta 4. Alumini 5. Alumini 6. Alumini 7. Acer 8. Alumini 9. Fusta

Revestiments, components desglossats



Aquesta gràfica permet observar que les subestructures són més lleugeres que els revestiments, excepte en la solució de la xapa mini onda. També comprovem que les subestructures d'alumini són més lleugeres que les d'acer, sent aquestes darreres les que més pesen. Les subestructures de fusta i les d'alumini s'equiparen en pes ja que, tot i que les de fusta són les que tenen major secció, també el material és d'una densitat inferior.

Respecte a l'edifici final, les façanes representen entre un 2% a un 12% (panells sandvitx – convencional) i els revestiments un 1% o inclòs menys. Lògicament, és un pes molt inferior a l'estructura i fonamentació però en el cas de les façanes pesades té prou rellevància. Els revestiments respecte a l'edifici final no n'adquireixen tanta.

	Façana	Revestiment
Repercussió respecte a edifici final CIES	2-12%	1%

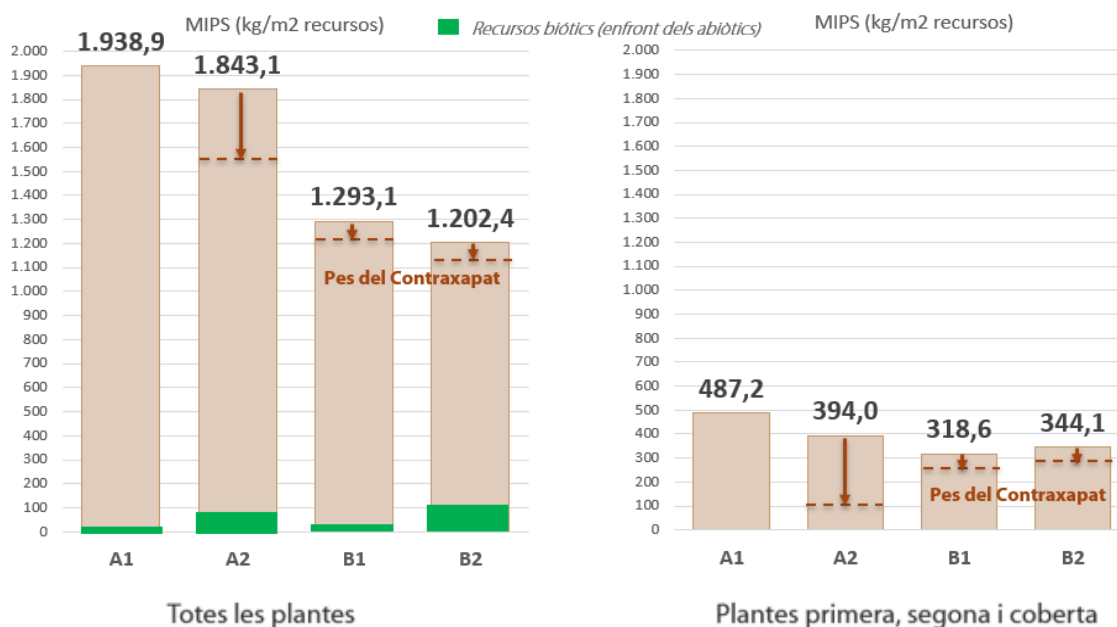
Com a conclusió, les solucions amb gruixos superiors són les més pesades per major quantitat de material. Destaca la façana de peces ceràmiques, en la banda superior de pes, i la de xapa ondulada a la inferior.

MIPS (intensitat material per unitat de servei)

L'indicador denominat MIPS (Material Intensity Unit que en català és la intensitat de material per unitat de servei), es refereix a l'afectació de recursos abiòtics i biòtics, és a dir, la quantitat de matèria mineral, vegetal i animal, aigua i erosió que ha estat utilitzada o ha estat afectada en els processos d'extracció i fabricació dels materials, expressada en kilograms de recursos per kilogram de producte final. De manera col·loquial es coneix com la motxilla ecològica que porta un material a sobre. A la construcció, habitualment, se situa al voltant de tres vegades el pes dels materials finals, depenent molt de la composició de cadascun d'ells. El concepte va ser elaborat pel *Wuppertal Institute* d'Alemanya que analitza i publica aquestes dades periòdicament.

Els valors totals de les solucions s'expressen al damunt de cada barra marró en kg recursos/m². El pes dels recursos biòtics (de la biosfera) s'ombreen en verd. Es destaca, amb unes línies horitzontals puntejades en marró fosc, el pes dels taulers contraxapats respecte als resultats totals per visibilitzar l'impacte que suposen dintre de la solució constructiva, a diferència de la fusta serrada o l'aglomerada que tenen una repercussió més baixa.

Fonamentació i estructures

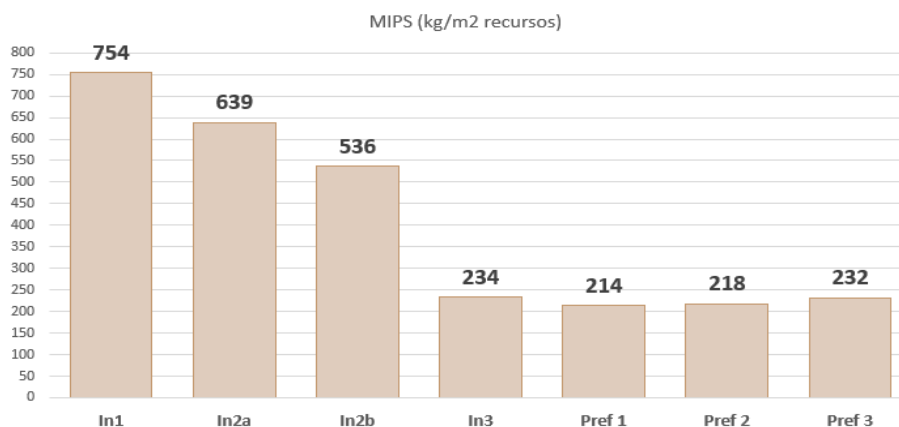


A nivell d'edifici, el sistema convencional té un major consum de recursos abiòtics (de la litosfera) degut a la quantitat de material mineral i de major pes (formigó). A la solució A2 la fusta té un MIPS quasi 3 vegades superior al del ciment i els contraxapats, amb 300 kg/m² de recursos. Si els panells contraxapats es canviessin per aglomerats els resultats es modificarien sent més igualats als de les solucions B en les plantes superiors. A nivell d'edifici, destaquen les solucions A ja que tenen una planta més d'estructura de formigó armat respecte de les B. Es veu com afecta el plantejament de

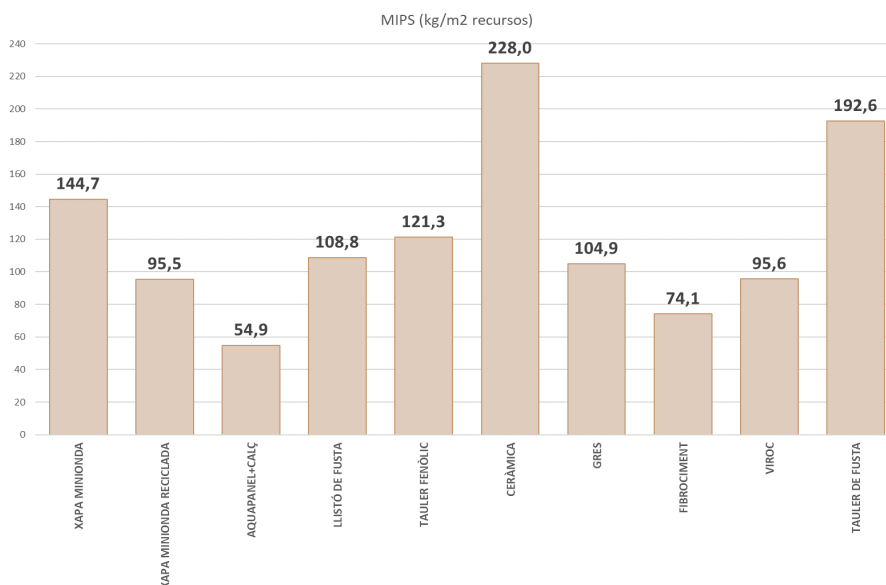
l'estintolament ja que l'impacte de la llosa (fonamentació de les A) i la prellosa (de les B) no difereix en gran mesura. Les solucions B són les menys impactants tant a nivell edifici total (estructura metàl·lica als dos) com en les plantes superiors (forjat col·laborant o CLT amb graves). Les dues B consumeixen una mateixa quantitat de recursos tot i que, la solució d'estructura en fusta representa menys recursos abiòtics i més biòtics (o renovables). El fet de que els sistemes amb fusta presenten uns MIPS superiors al d'acer (B1) es degut a l'impacte dels contraxapats i a una major quantitat de revestiments de guix incorporats per l'acompliment dels requisits acústics (al tindre una menor massa i ser estructura lleugera, cal complementar-los amb materials pesats). També constatem que els MIPS, en aquests casos, són 1,5 vegades majors que el pes d'aquestes solucions, essent el doble dels valors mitjans estadístics. Per capítol, els MIPS representen la següent repercussió:

CAPÍTOLS	Fonamentació + Estructura sota rasant	Estructura sobre rasant
Repercussió respecte a edifici final CIES	15-25 %	5-8%

Façanes



Revestiments



Com ja s'ha vist, el MIPS va relacionat amb el pes de les solucions constructives i, per això, la solució ceràmica té un valor elevat. En canvi, la solució que destaca és la dels taulers de fusta degut a que en

produir-los s'utilitza més quantitat de material que en altres solucions de tipus petri (gres, ciment) i perquè el gruix del tauler és dels superiors (35 mm).

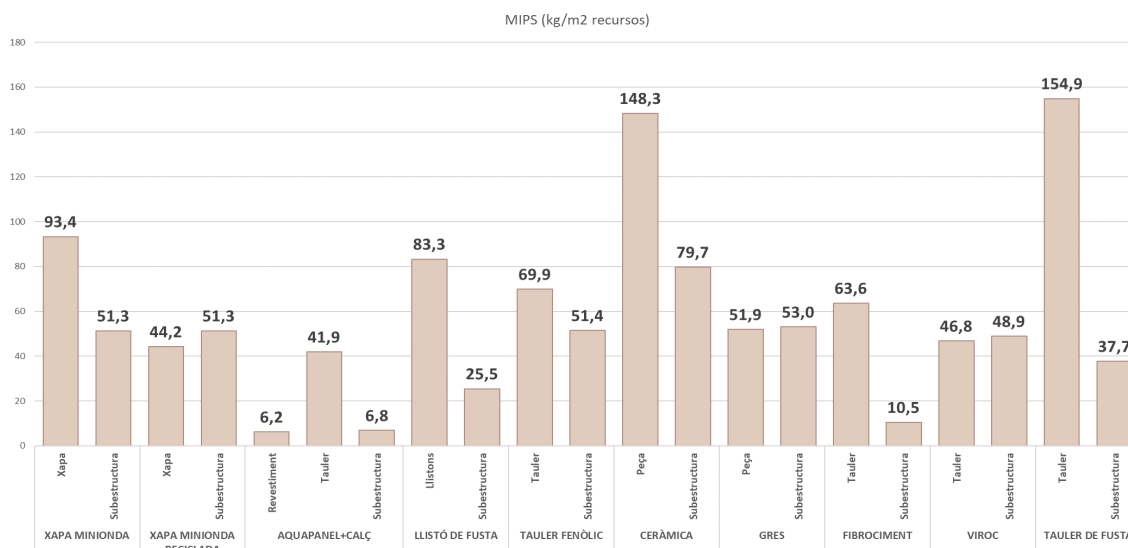
Destaca també, l'augment dels MIPS de la solució de xapa d'alumini anoditzat que és un dels materials que més recursos necessita per ser produït, 37 vegades el seu pes i, la solució de tauler fenòlic, que en contenir resines sintètiques resulta de major impacte a pesar de seu pes reduït.

Als revestiments desglossats podem observar que les subestructures representen menys impacte que els taulers i peces ja que el seu pes és inferior. La repercussió d'aquest valors sobre el total de l'edifici es:

	Façana	Revestiment
Repercussió respecte a edifici final CIES	2- 6 %	1%

Tots els sistemes de façanes al voltant d'un valor MIPS de 200 kg recursos/m² representen el 2% respecte a l'edifici acabat final. Els revestiments representen l'1% o valors inferiors, poc rellevants a nivell d'edifici final. La major proporció, amb diferència, és troba sota rasant.

Revestiments, components desglossats



Com a resum, a més dels valors alts de la xapa d'alumini anoditzat i de la solució de tauler fenòlic, el MIPS de la solució ceràmica (la de més pes propi) és el més elevat de tots.

Carboni incorporat

Els gràfics que es presenten a continuació porten dues lectures numèriques: els valors total d'impacte de cada solució o conjunts d'elements constructius (números en negreta, a dalt de les barres) i els valors resultants de restar el CO₂ absorbit per la fusta en el seu procés de formació als arbres (números en blanc, sobreposats en les barres, o negatius).

D'aquesta forma la lectura és doble: total i amb l'efecte de reducció que aporta la fusta que intervé en el sistema.

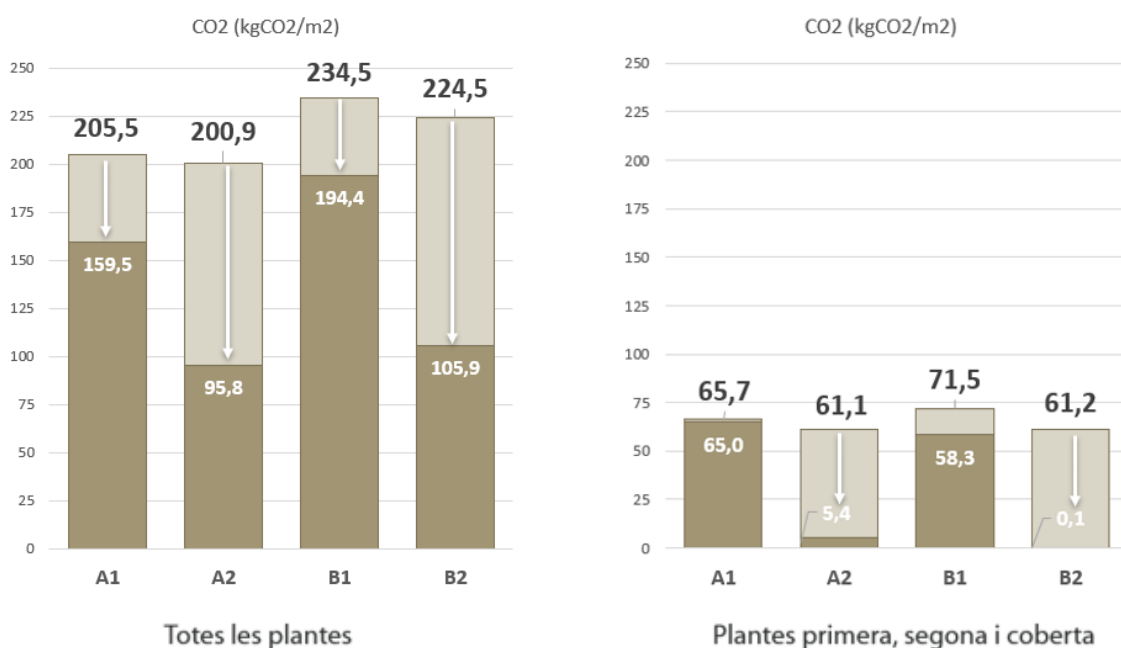
L'efecte negatiu o de resta que proporciona un material absorbidor de CO₂ en el seu procés de formació, com la fusta però també com altres materials d'origen vegetal com ara algunes fibres utilitzades en aïllaments tèrmics, no es va comptar directament. La raó és que l'absorció de CO₂ podria estar comptant-se en algun altre projecte (per exemple compensació d'emissions en el transport aeri).

Abans d'incorporar-la cal assegurar-se per tal de no fer dobles imputacions.

Cal una altra reflexió, pel que fa als materials absorbidors de CO₂ o que es carbonaten al llarg de la seva vida útil com els formigons i morters de calç i ciment. Si bé la indústria planteja aquesta característica com un avantatge, abans de comptar-la cal estudiar detalladament els components de la mescla, el grau d'exposició a l'aire dels elements constructius amb calç o ciment, els continguts de carboni i altres substàncies a l'aire, les possibilitats de saturació o no del material, etc. Tot i així, l'estat de l'art d'aquesta qüestió demostra que hi ha un cert debat al voltant del mètodes de càlcul, els models de previsió del comportament i els resultats estimats a llarg termini.

Per tant, aquest efecte s'ha tingut en compte només en el cas dels acabats exteriors amb morters de calç, és a dir en les solucions que porten un arrebossat (blocs de formigó, panel de fibra i ciment Aquapanel) aplicant al càlcul de les emissions de CO₂ de producció una mitjana dels coeficients d'absorció indicats per diferents fabricants d'aquest material.

Fonamentació i estructures



Tant a nivell de tot l'edifici com a les plantes superiors, els quatre sistemes tenen unes emissions de CO₂ per m² similars. Això mostra que els sistemes amb estructura de formigó armat, a les plantes inferiors, tenen una seccions i volums òptims del material.

També cal considerar que són sistemes que treballen amb massa i per tant, necessiten menys aïllants i extradossats per al compliment d'acústica, materials que són més emissors de CO₂ i augmenten als sistemes B i A2.

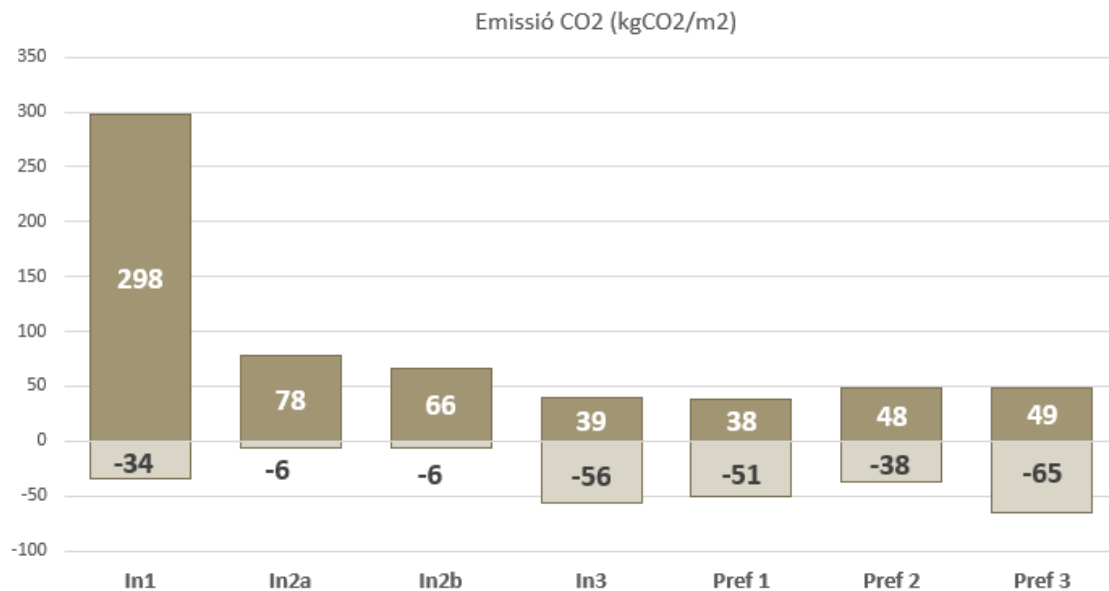
En canvi, els sistemes que empren fusta compensen parcialment aquestes emissions de CO₂ al llarg de la seva vida útil (segresten CO₂ durant el creixement d'aquesta fusta als arbres), reduint la seva petjada a la meitat respecte als sistemes de formigó i acer. Per aquesta raó, en el cas de les plantes superiors d'habitatge, en els sistemes A2 i B2 les emissions de CO₂ es redueixen quasi a zero.

La repercussió de l'impacte d'aquest capítols respecte a la globalitat de l'edifici s'observa aquí:

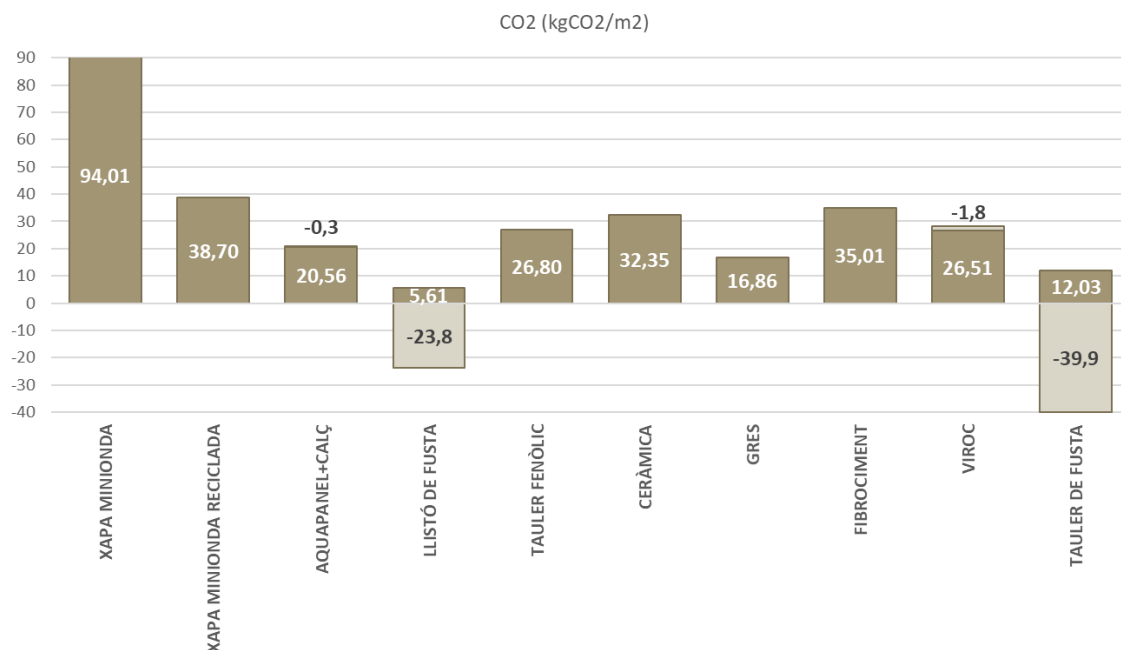
CAPÍTOLS	Fonamentació + Estructura sota rasant	Estructura sobre rasant
Repercussió respecte a edifici final CIES	19%	8%

El percentatge de repercussió del fonaments i les estructures en aquest impacte, respecte als impactes que presenten en els indicadors de pes i MIPS, és inferior. Però, com es veurà més endavant, els capítols de façana i revestiments aquesta situació canvia.

Façanes



Revestiments



La majoria de les solucions constructives de façanes i revestiments resulten relativament igualades al carboni incorporat, excepte la convencional (blocs de formigó), amb valors molt elevats, i la dels llistons de fusta, amb valors reduïts. De fet, destaquen les que empen fusta amb uns valors inferiors a la resta, aproximadament la meitat, que a més quedarien pràcticament compensats si es restés el CO₂ incorporat al seu procés de formació (sempre que no torni a l'atmosfera al final de la seva vida útil, a partir de la cremació o compostatge del material retirat).

El revestiment de xapa té valors superiors a la resta ja que l'alumini presenta un consum energètic de producció elevat i, per tant, també unes emissions de CO₂ superiors. En canvi, si es fa servir una xapa d'alumini reciclat, l'impacte s'igualava a la resta (tot i sent encara superior) i es redueix significativament si la xapa és reciclada (a menys de la meitat).

La repercussió d'aquests capítols de façana i revestiment en aquest indicador es superior als impactes de pes i MIPS. De fet, fins i tot els impactes de la façana i els seu revestiment, depenent de les solucions que es triïn, poden arribar a ser els mateixos o molt semblants.

Es mostren valors molt amplis pels valors molt diferents d'algunes solucions com la xapa (alt) o la fusta (baix) però, si es fa la mediana les repercussions de la façana sobre el total de l'edifici oscil·la entre el 3 i el 4 % i, en el cas dels revestiments, se situa al voltant del 1 %, aproximadament.

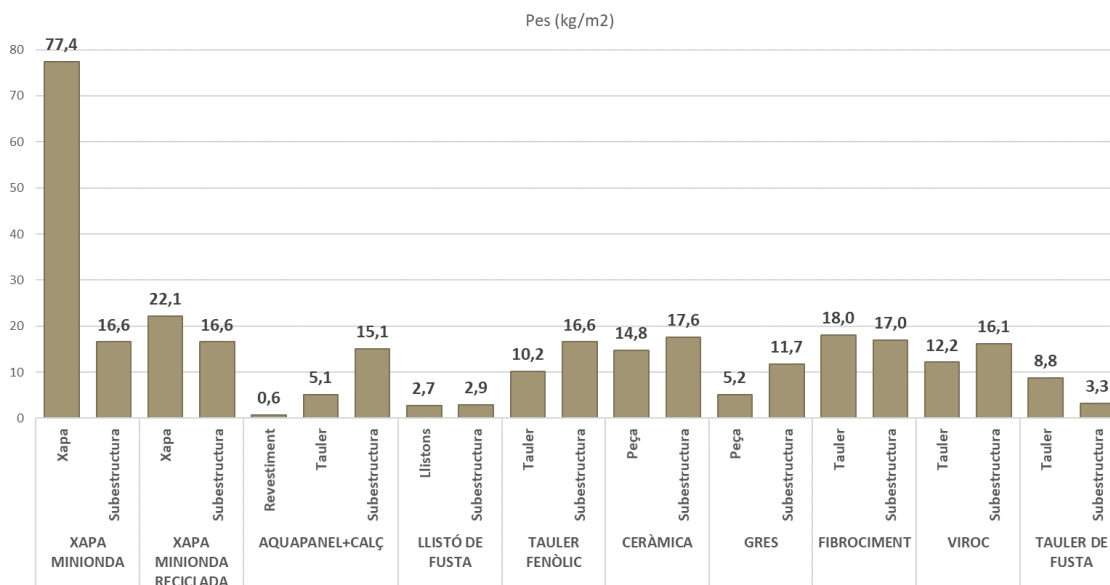
	Façana	Revestiment
Repercussió respecte a edifici final CIES	2 - 19 %	1- 3 %

Als revestiments desglossats es comprova que la subestructura i el revestiment tenen valors més similars en les solucions de taulers i ceràmics, sent una mica superior l'impacte de la subestructura.

Però, a la solució de xapa d'alumini no reciclada, sí que apareix una gran diferència entre l'impacte de la xapa i la seva subestructura (que s'igualava en la xapa reciclada). Això es degut a que les subestructures d'acer i alumini presents al mercat porten un percentatge de reciclatge incorporat.

En el cas de les xapes microperforades d'alumini estàndard els productes amb contingut reciclat no són habituals i això augmenta l'impacte considerablement.

Revestiments, components desglossats



Tancament de cicle de vida

L'indicador de tancament del cicle de vida mostra les possibilitats de reutilitzar (els mateixos elements constructius, amb poca transformació) o reciclar (convertir els materials en matèries primeres i en nous materials, amb transformacions importants) contínuament els recursos en altres cicles d'edificació sense pèrdues de qualitat i quantitat importants.

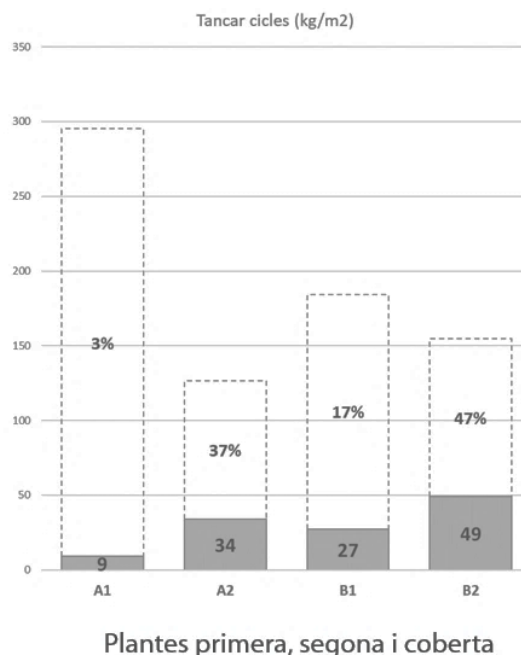
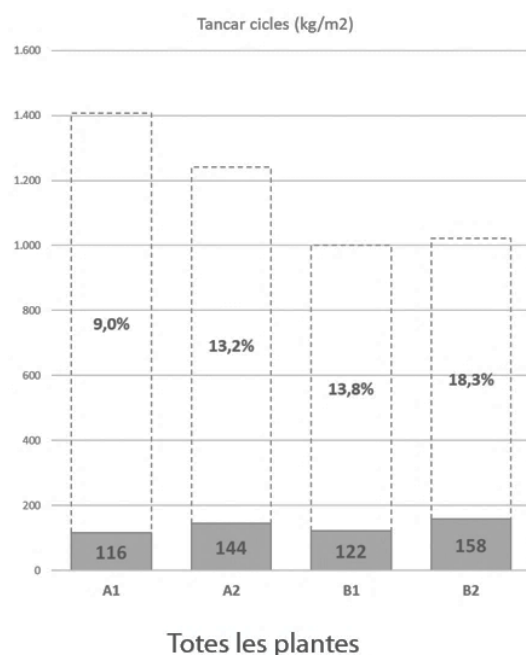
La reutilització però, en el mercat local, troba dificultats importants. D'una banda l'oferta de materials reutilitzats amb característiques tècniques conegudes és escassa. I, d'altra banda, la

normativa exigeix no només unes qualitats determinades en la recepció del material per a l'obra sinó també unes certificacions justificatives de part dels fabricants i proveïdors.

Però això podria començar a canviar tant per l'impuls d'una nova cultura de l'ús dels materials que afavoreixi més la reutilització (com ja passa a altres sectors) i per l'aparició d'una normativa específica per promoure la reutilització.

Les gràfiques d'aquest apartat també presenten una doble lectura: la part grisa inferior de les barres ensenya el valor en kilograms de material reutilitzable o reciclable per m² mentre que el percentatge que això representa respecte del total s'ubica al centre de les mateixes.

Fonamentació i estructures

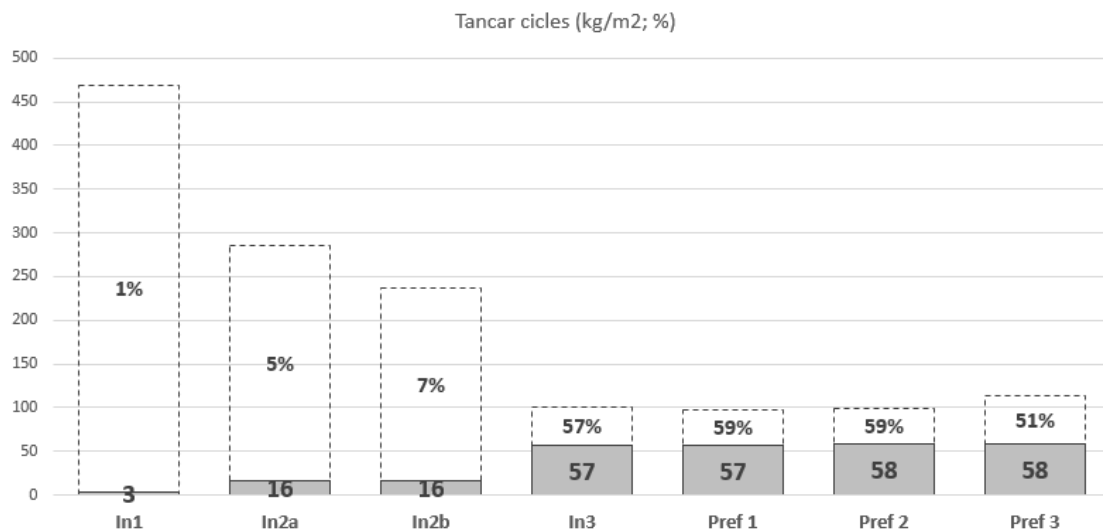


Els materials d'aquestes estructures amb més potencial de tancar cicles són l'acer i la fusta. Llavors, els sistemes A2 i B2 que són els que presenten la major quantitat d'aquests materials, són els millor posicionats i, per tant, tenen els millors resultats en aquest indicador i també en altres (menys MIPS, menys emissions de CO₂, menys energia, etc.).

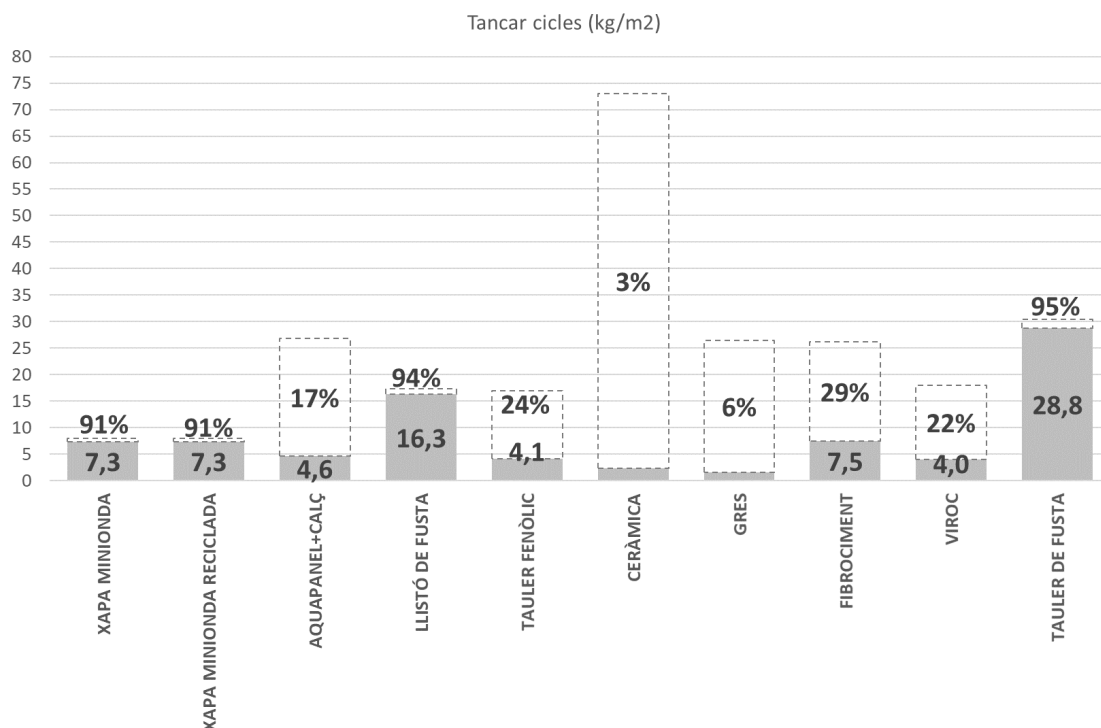
El sistema amb major quantitat de formigó a la seva estructura, l'A1, és amb diferència el dels resultats més desfavorables. Això es deu a que el formigó, més que reciclar-se, s'infrarecicla (no es recuperen els materials components sinó un àrid de barreja que es pot incorporar, parcialment, a altres formigons o fer-se servir com a reblert).

També els sistemes amb major possibilitats de ser desmuntats (industrialitzats, muntats en sec) i no enderrocats (construcció convencional amb juntes humides) tenen major possibilitat de ser reutilitzats contínuament gràcies a la recuperació de materials correctament separats. Això queda palès en els resultats del sistema B2.

Façanes



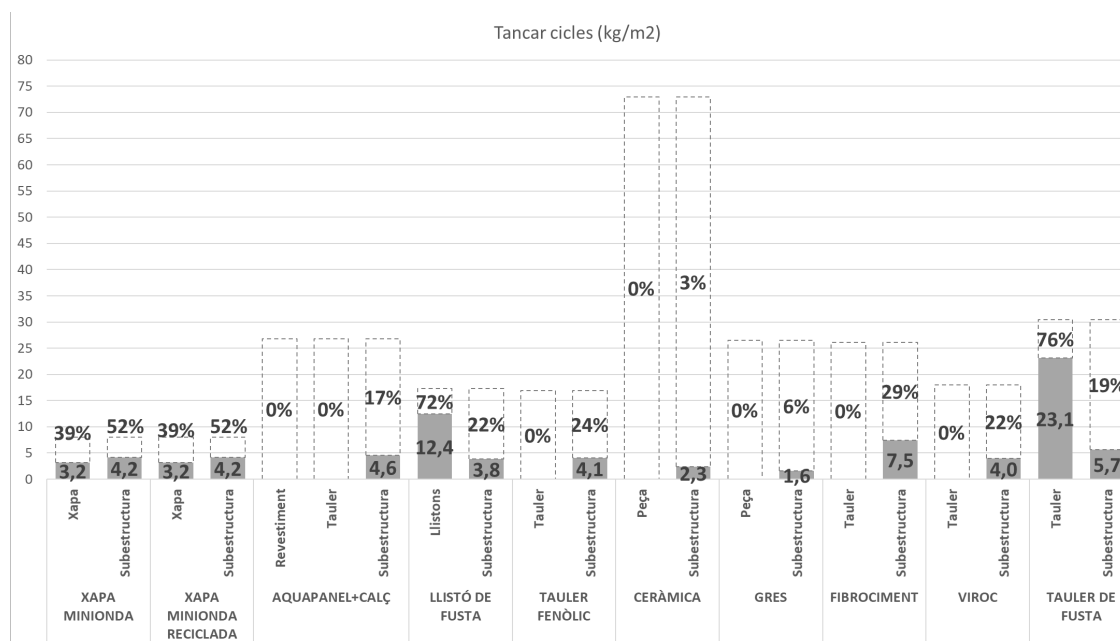
Revestiments



Les solucions amb sense possibilitat de tancar cicles són les de peces de ceràmica i les que incorporen taulers que no siguin de material únic sinó de tipus compost (com la fusta amb resines, en aquest cas) ja que el seu reciclatge presenta dificultats tècniques o econòmiques.

Les solucions amb més possibilitats de tancar cicles són, en canvi, les d'acabat de fusta o d'alumini (en aquest cas la xapa d'alumini) ja que el seu reciclatge és més senzill. Tant les subestructures metàl·liques com les de fusta també tenen bons resultats en el tancament de cicles.

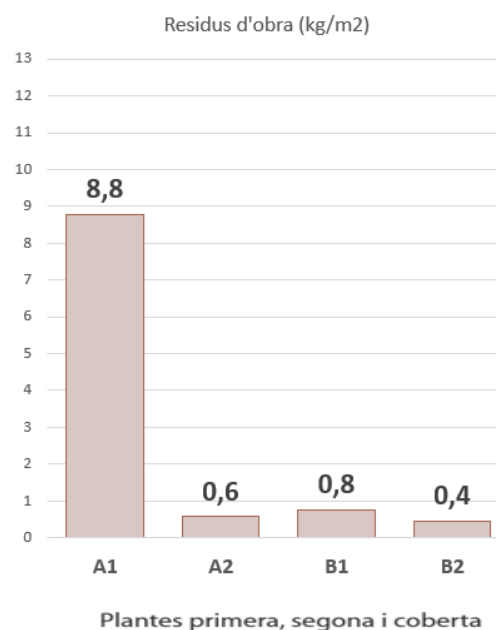
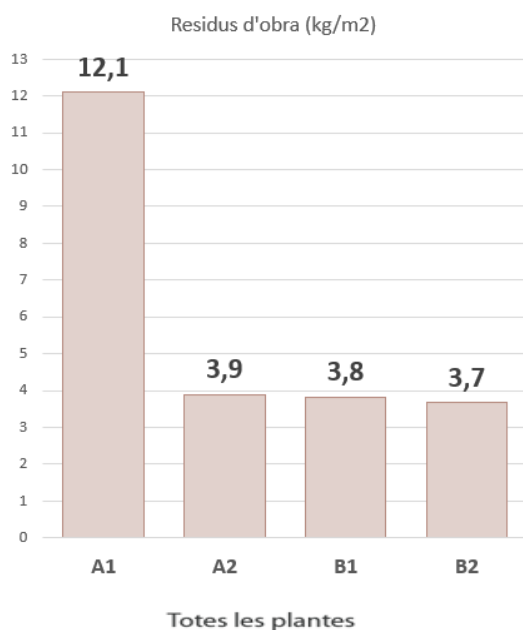
Revestiments, components desglossats



Pel que fa als sistemes de revestiments desglossats, els majors potencials de tancament de cicles materials s'observa als acabats de fusta massissa o de tauler i xapa metàl·lica ja que el reciclatge d'aquests materials és habitual, mentre les subestructures amb millors resultats són les metàl·liques per plaques d'alumini i fibrociment, per les mateixes raons.

Residus

Fonament i estructures



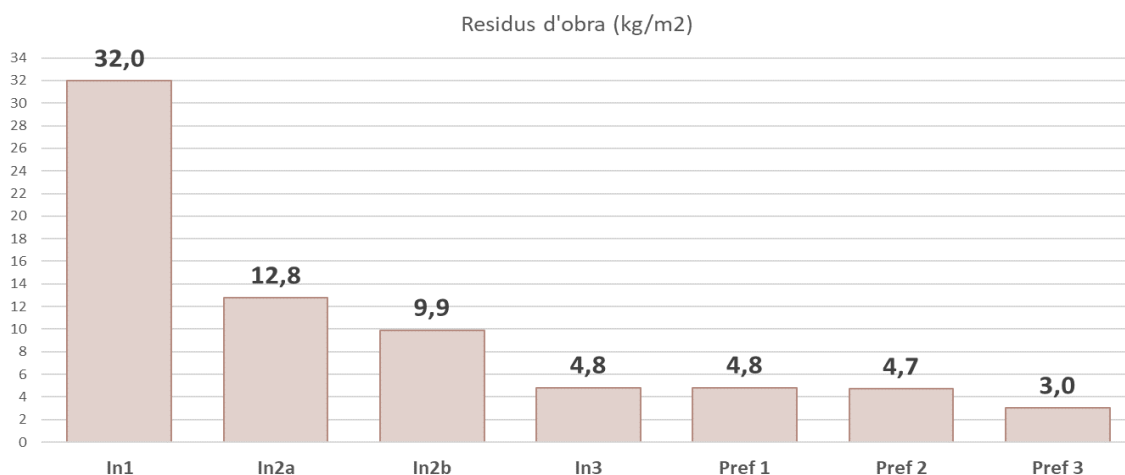
En quant a residus, el sistema que més en genera amb diferència és l'A1, per la utilització massiva de recursos i l'execució total a l'obra, amb alguns minvaments de materials i encofrats. La utilització de

maons en murs, amb talls i sobrants, i no de sistemes de panell i subestructura a mida, fa augmentar encara més els residus. La repercussió dels residus d'aquests capítols respecte a l'edifici final CIES és molt elevada com es pot observar a la taula, segons el tipus, en l'estructura sobre rasant. Però, si es mira per la mediana de les solucions s'està voltant del 4% per a les solucions de les plantes sobre rasant enfront del 27% de la fonamentació y les plantes sota rasant.

CAPÍTOLS	Fonamentació + Estructura sota rasant	Estructura sobre rasant
Repercussió respecte a edifici final CIES	27%	3 - 70 %

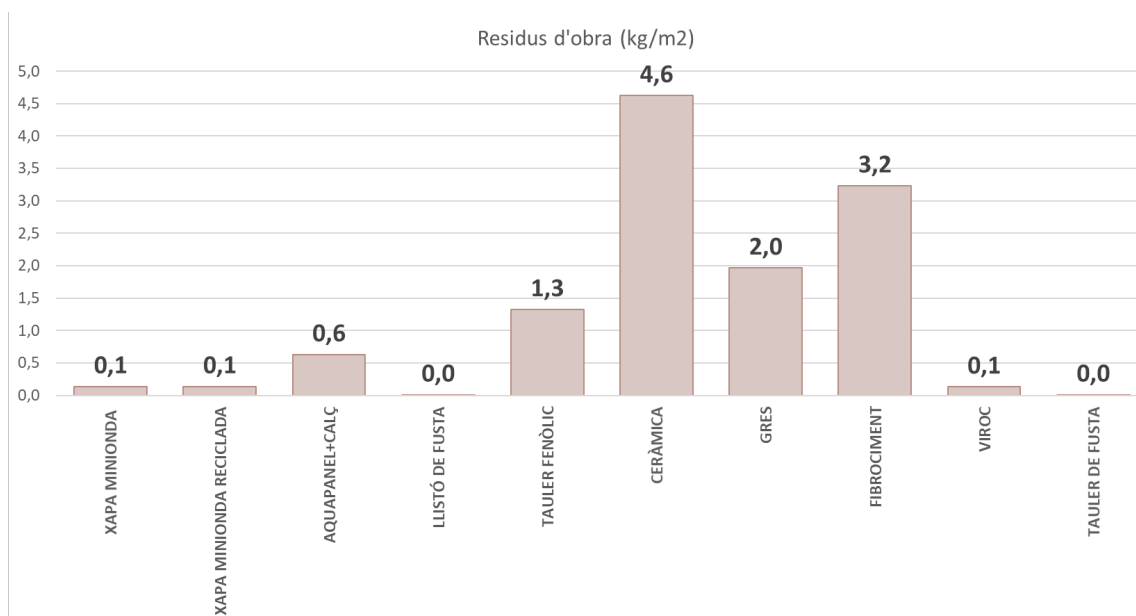
La fonamentació i sistemes de contenció, en ser obra in situ (no a les opcions B), generen més residus que els sistemes sobre rasant de panells amb major grau d'industrialització.

Façanes



En el nivell de generació de residus més alt es troba la façana tipus In.1 (blocs de formigó) a causa dels talls, sobrants i trencaments de peces i utilització de morters i pastes propis de l'execució d'aquest sistema constructiu. En segon lloc, s'ubiquen els sistemes de termoargila (In.2a i In.2b) que també s'executen in situ i per tant generen més residus que el tercer grup (In3 entramat fusta, Pref.1, 2 i 3 sandvitx fusta i diferents aïllaments) amb més nivell d'industrialització i muntatge en sec, que és el que genera menys residus.

Revestiments



En el cas dels acabats exteriors, les generacions més grans de residus corresponen a les peces de ceràmica, plaques de fibrociment, peces de gres i taulers fenòlics a causa, sobretot, dels talls i minvaments que es produeixen en ajustar les mides de fabricació a les d'obra.

Els revestiments amb menors ratios de generació de residus són els de fusta, ja que el material sobrant es recull i es reincorpora fàcilment a l'obra per exemple com remats dels propis trobaments o fusteries.

	Façana	Revestiment
Repercussió respecte a edifici final CIES	12- 60 %	1- 10 %

La repercussió dels residus d'aquests capítols respecte a l'edifici final CIES és molt elevada, com es pot observar a la taula, en l'estructura sobre rasant, tant al capítol de façana com al de revestiments.

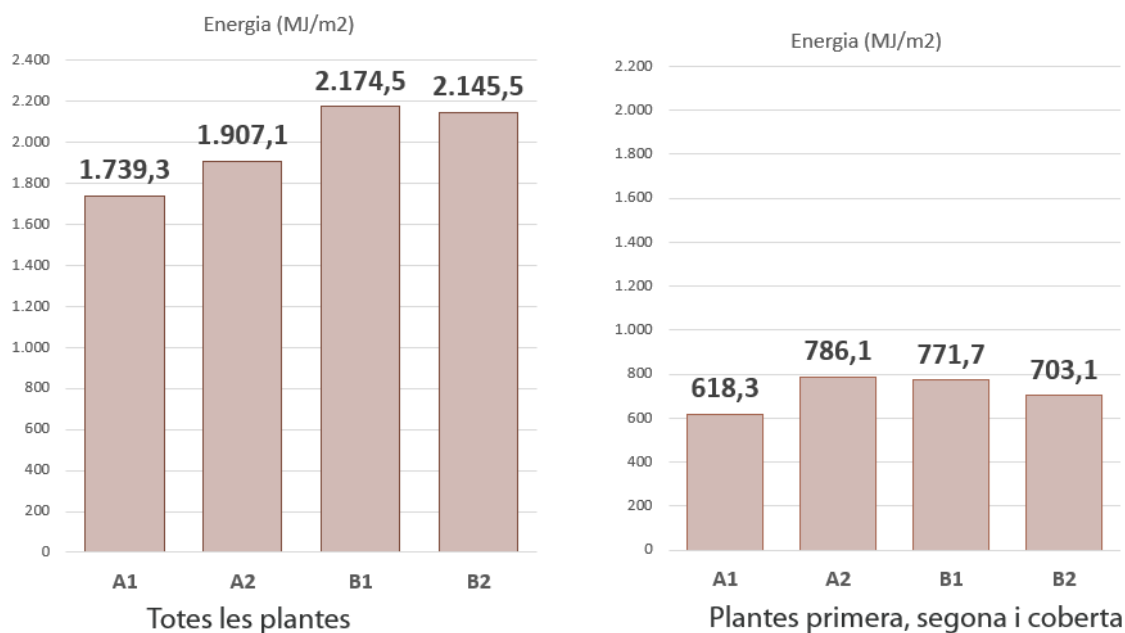
La solució de In.1 de bloc de formigó i la de peces ceràmiques i plaques de fibrociment augmenten la mitjana. Llavors, fent la mediana es troben uns valors més representatius de que repercussió dels residus de la façana en el context de l'edifici final. Això dona, per a la façana, uns valors al voltant de 25% i, pels revestiments, se situa sobre 4%. Aquests són valors rellevants respecte a altres impactes en aquests capítols.

Energia consumida

S'observa que els valors d'energia són molt semblants en ordre i entre escenaris respecte als valors de CO₂ incorporat.

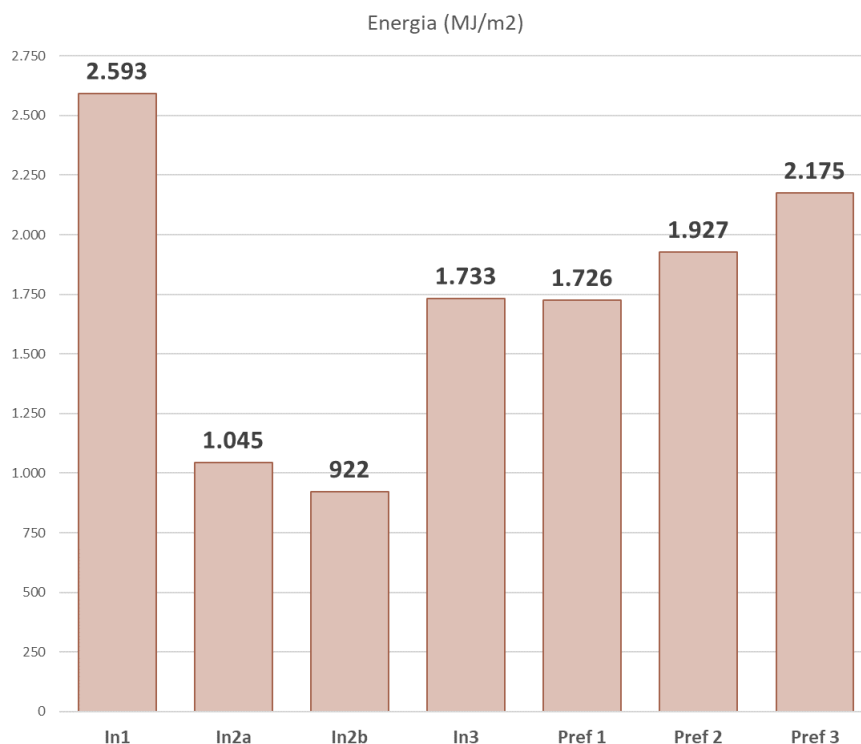
A les plantes superiors els resultats són molt semblants entre sí sense mostrar diferències destacables i, en les plantes inferiors, els valors són superiors als sistemes B ja que l'acer consumeix més energia en la seva producció (pel seu procés de fosa) que el formigó, a banda dels arguments mostrats a l'indicador de CO₂ incorporat.

Fonament i estructures



Als següents capítols, els resultats de l'avaluació en energia de producció dels materials altera la tendència registrada fins ara als altres indicadors. Algunes de les solucions amb millors resultats previs no mantenen aquestes posicions sinó que ara presenten uns valors d'impacte més elevats.

Façana

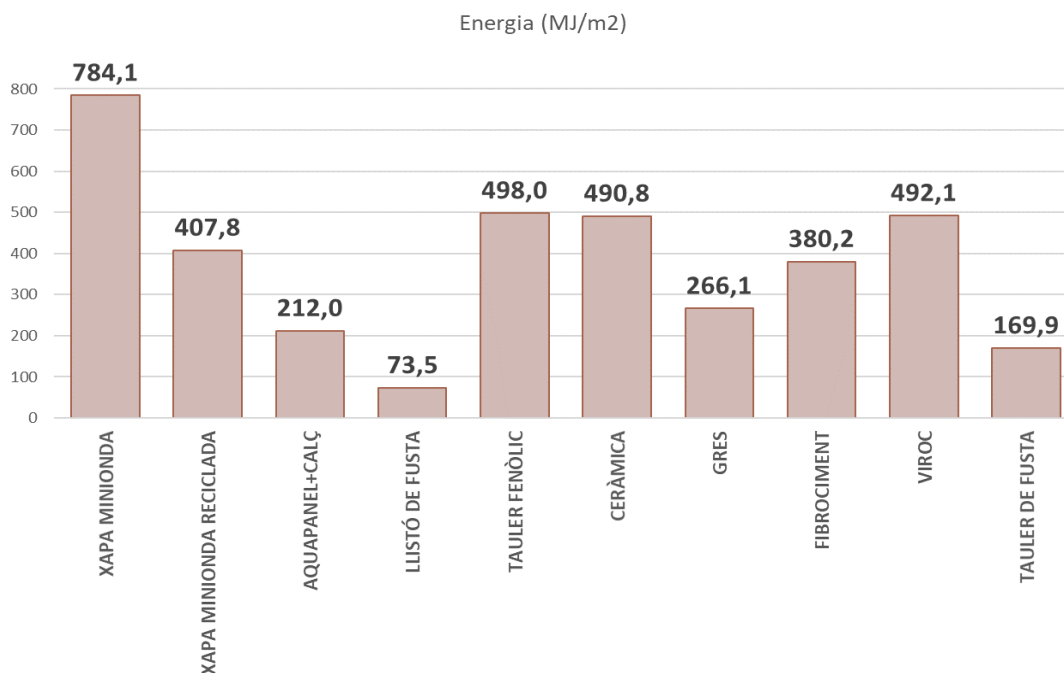


A les façanes el sistema convencional de blocs de formigó (In.1) és el més impactant en energia. Els sistemes on predomina la fusta se situen en segona posició. En el cas del Pref.3 (sandvitx de taulers i fibres de fusta) els adhesius sintètics comporten la major despesa energètica del material. El cas del

Pref.2 (sandvitx de taulers poliestirè expandit) el major pes energètic correspon a l'aïllament plàstic i en el cas de Pref.1 (sandvitx de taulers amb rastells) l'afectació ve dels adhesius dels taulers (tipus OSB i aglomerat) i l'aïllament de fibra de fusta. Una altra solució amb impacte important és la In.3 (entramat de fusta) que repeteix problemes semblants als ja comentats en el cas Pref.1.

Els sistemes de termoargilla In2a. i In2b. són els menys impactants en l'indicador d'energia.

Revestiment



En el cas dels materials d'acabat, els resultats s'agrupen en quatre nivells. El més impactant està conformat per la xapa metàl·lica no reciclada per la seva repercussió important del procés tèrmic de fabricació de l'acer.

En segon grup o nivell està integrat pel tauler fenòlic, la ceràmica i el plafó de fibres i ciment Viroc corresponent la part més important de l'energia consumida en els adhesius sintètics, la cocció en forn i el adhesiu ciment, respectivament pels tres materials. També pròxim es troba el fibrociment per la utilització de ciment.

El tercer conjunt agrupa el gres i els plafons de fibra i ciment Aquapanel, que repeteixen les situacions semblants a les ja comentades als casos de la ceràmica i el fibrociment. En els valors més baixos es troben els taulers de fusta, amb menys contingut d'adhesius que les altres versions, i els llistons de fusta massissa que porten poc materials afegits.

Reciclat

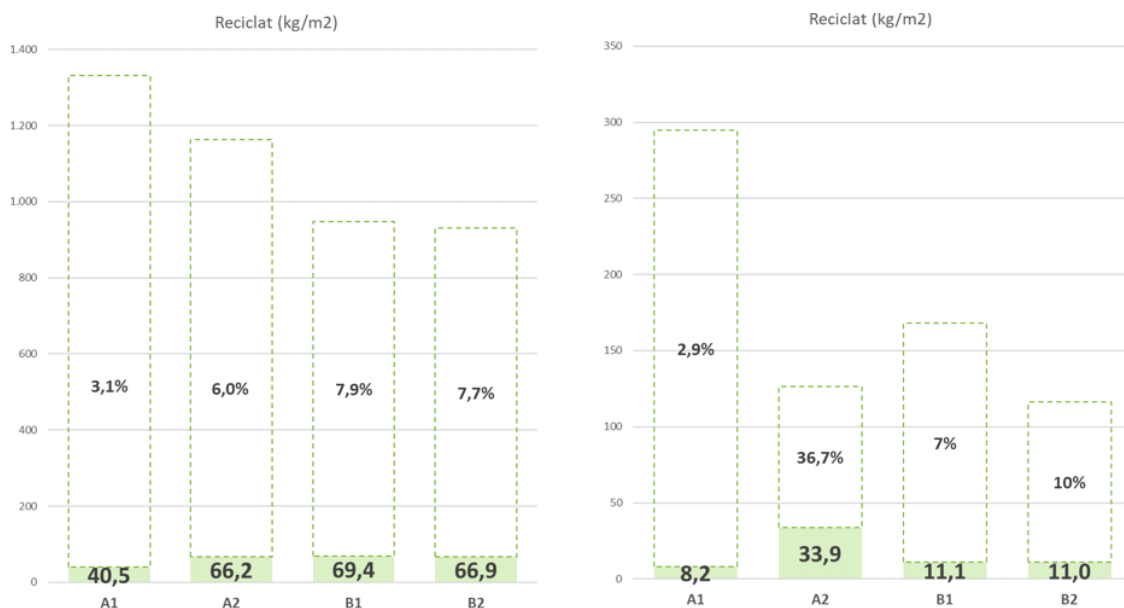
Aquest indicador informa de la quantitat o percentatge de matèria primera reciclada que té incorporat un material en la seva producció a la fàbrica, de mitjana, en el mercat actual.

Les gràfiques d'aquest apartat també presenten una doble lectura.

La part verd clar inferior de les barres porta el valor en quilograms de material reciclat per m² mentre que el percentatge que indica quant representa respecte del total del pes s'ubica al centre de les mateixes.

Les línies puntejades en verd indiquen el pes total de la solució per m².

Fonament i estructures

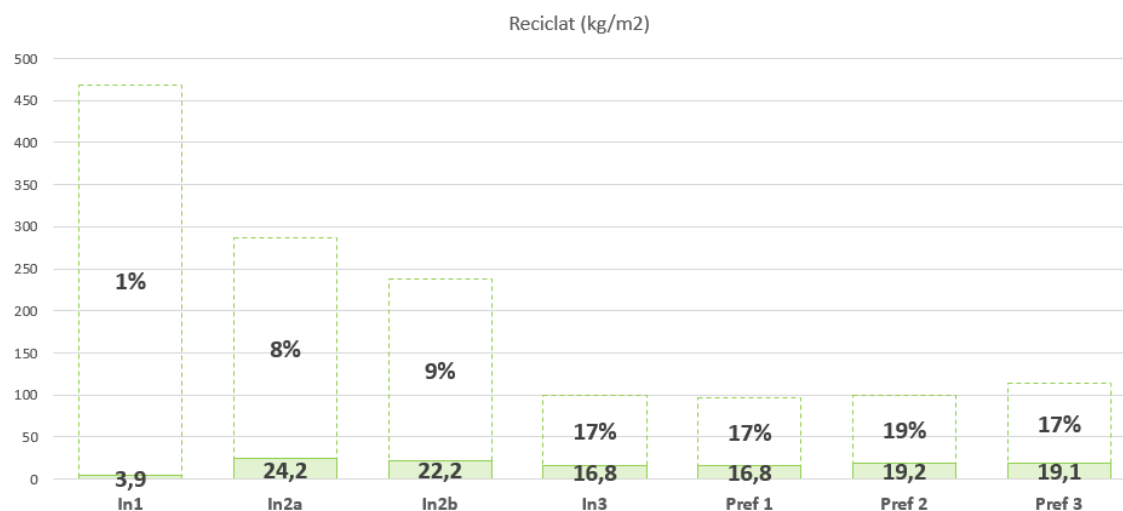


A nivell d'edifici, les diferències de materials reciclats als diferents sistemes es mostra mínima, tenint els sistemes de pòrtics (B1, B2) un major percentatge de reciclat degut a l'acer, que es produeix amb un alt percentatge d'arreglament de ferralla de l'entorn i també de minvaments propis. Aquest acer amb alt contingut reciclat també apareix a les opcions A en les armadures.

En canvi, si comparem només els pisos superiors, destaca positivament el sistema A2 degut a que l'únic material de gran pes a aquest sistema d'estructura lleugera és la grava, que en aquest cas s'ha considerat 100% reciclada (s'ha de tenir en compte que el percentatge de reciclat es fa respecte al pes). Els sistemes B d'estructura basada en acer, a nivell d'edifici, contenen més percentatge de reciclatge (precisament, per aquest material) respecte al formigó, que els A.

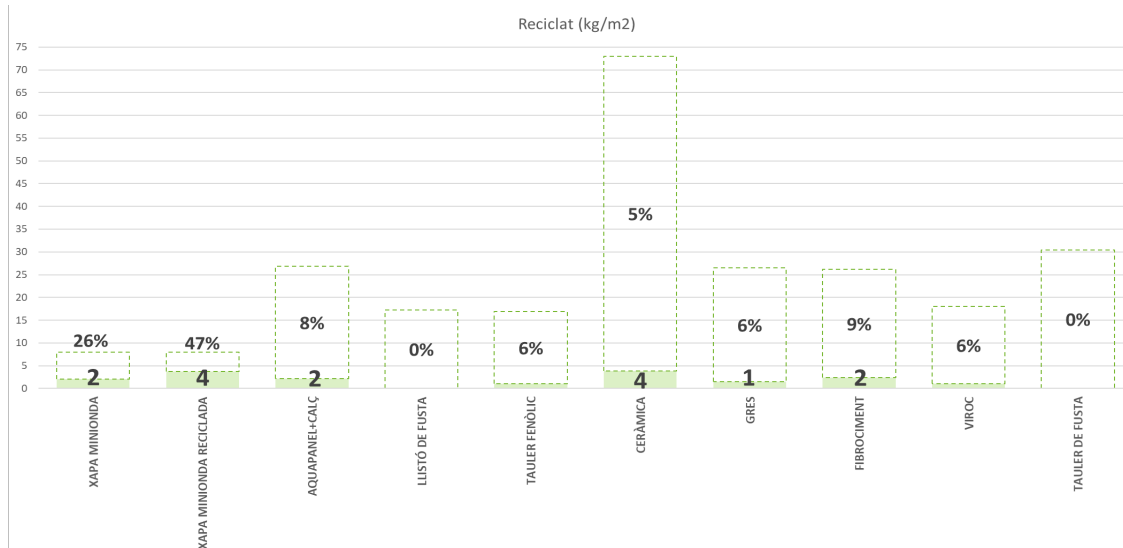
Per últim, també surten penalitzats els sistemes que utilitzen taulers contraxapats a les seves façanes ja que no poden ser reciclats (es produeixen completament amb fusta verge, però si poden ser reutilitzats o reciclats posteriorment) com poden ser els taulers de partícules orientades (OSB) o els aglomerats. Es podrien canviar per aquests taulers si fos possible i, llavors, els sistemes B augmentarien en percentatge de reciclat.

Façana



Les solucions de façana es troben molt equiparades en aquest indicador, destacant lleugerament les ceràmiques i, amb valors inferiors, ressalta la solució de façana In1 de bloc de formigó ja que no conté material reciclat en la seva producció.

Revestiments



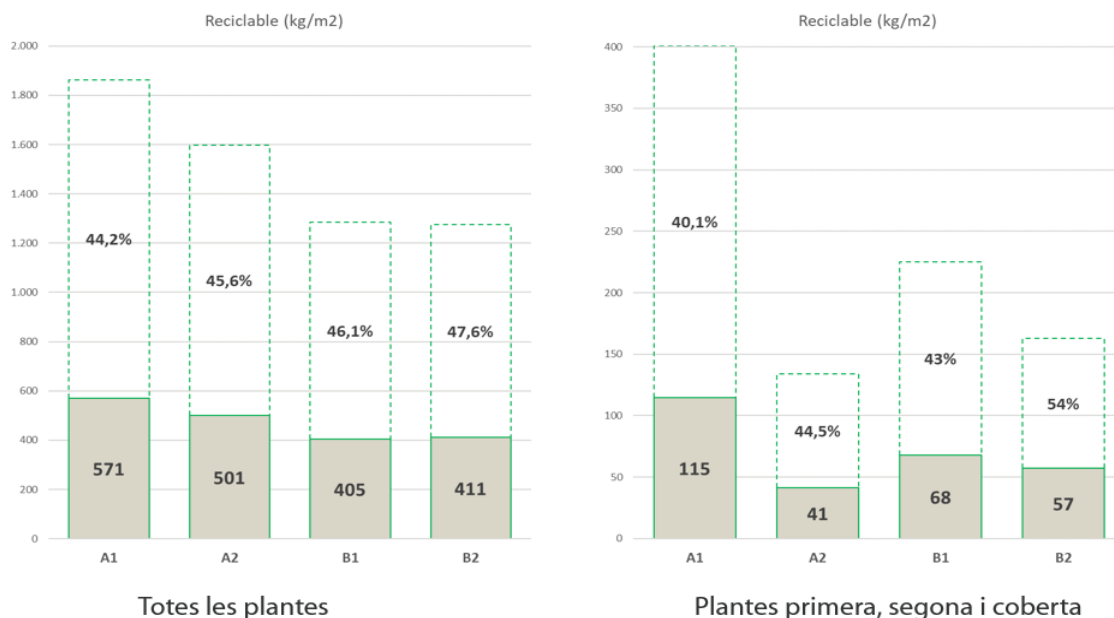
Les solucions amb més contingut de reciclat presents al mercat són les de xapa d'alumini o les peces ceràmiques i, a més, tenen un pes alt. També les solucions amb subestructura metàl·lica. Les que presenten un percentatge de reciclat i possibilitats de reciclatge més elevades són les de xapa ondulada d'alumini i les de peces ceràmiques, seguides de les solucions de gres, fibra ciment (Aquapanel) i fibrociment per la major quantia de subestructura al seu sistema. Els dos acabats amb menor percentatge serien les solucions de fusta amb estructura de fusta (tot i que el material és renovable). Igualment, els resultats de revestiments no varien significativament.

Reciclable

La *reciclabilitat* és la possibilitat efectiva (verificable) d'un material de ser reciclat un cop l'enderroc o el desmuntatge ha tingut lloc. Aquest indicador també es considera l'*infrareciclatge*, és a dir, la possibilitat d'un reciclatge amb pèrdues de qualitat i quantitat que, en rigor, donen lloc a altres materials per altres usos i prestacions reduïdes (farciments, per exemple).

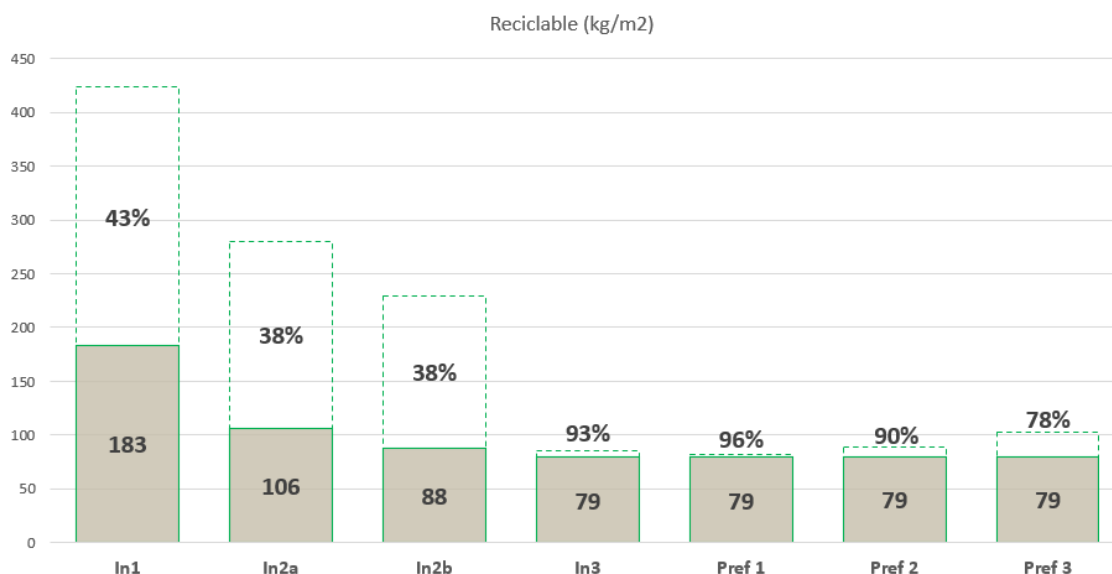
Les gràfiques d'aquest apartat també presenten una doble lectura: la part gris clara inferior de les barres porta el valor en quilograms de material reciclable per m² mentre que el percentatge que indica què representa respecte del total del pes del material s'ubica al centre de les mateixes. Les línies puntejades en verd indiquen el pes total de la solució per m².

Fonament i estructures

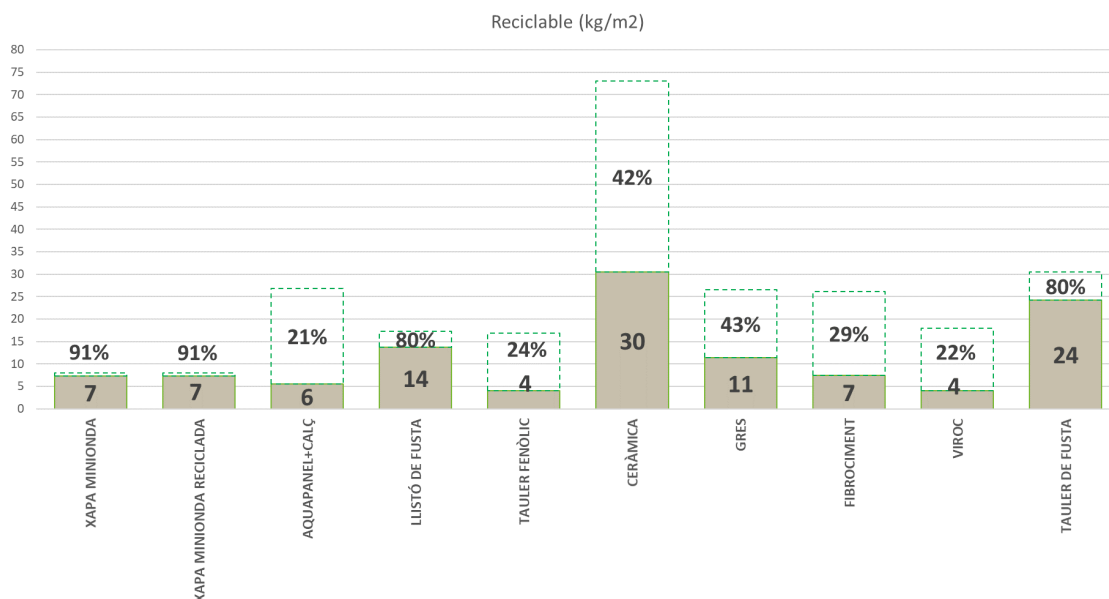


En aquest cas, tots els sistemes tenen una reciclabilitat similar tot i que augmenta als sistemes més industrialitzats (acer i fusta) per la seva alta reciclabilitat verificable al mercat (fundició de l'estructura metàl·lica en nous elements, reutilització de les subestructures, transformació de la fusta en altres taulers aglomerats, etc.). Això es fa palès sobretot als pisos superiors. El sistema B1 queda penalitzat respecte al B2, per la diferència de composició dels forjats. En el cas del A1, destaca en millor valors a les plantes superiors (per la alta infrareciclabilitat dels petris).

Façana



Revestiments



Les solucions amb fusta, ceràmica, alumini i acer són les que tenen més possibilitats de reciclatge. En els taulers i els revestiments de barreges amb ciment no és possible produir material triturats per a ferms com en el cas del formigó de fonamentació i estructures, a causa de la presència de fibres, calç i altres materials. En canvi, la ceràmica sí permet aquest procés.

Tot i així, al capítol de revestiments, destaquen amb valors molt superiors, com a la gràfica de percentatge de reciclat, les solucions de xapa d'alumini i les de fusta amb percentatges propers al 100%. Després se situen les ceràmiques i gres. La resta es troba igualada en un percentatge al voltant del 20%.

Al capítol de façana, igualment destaquen les solucions que utilitzen elements de fusta (tant taulers com aïllants o subestructures d'aquest material), amb percentatges de reciclabilitat pròxims al 100% (pràcticament qualsevol tipus de fusta pot ser incorporada en la fabricació de panells aglomerats). En un segon grup es troben les façanes amb elements més petris, amb percentatges propers al 40%, que és el cas de les de blocs de formigó i termoargila.

Economia

(sobre dades extretes de l'informe realitzat per La Constructiva Cooperativa²)

La valoració econòmica i també l'estimació dels temps dels diferents sistemes constructius analitzats fins aquí ha estat a càrrec de l'equip tècnic de La Constructiva Construcció Coop SCCL, qui ha desenvolupat el seu estudi en forma simultània i coordinada amb el present estudi. Tal com s'ha comentat als estudis han col·laborat també Sostre Cívic (promotora) i labaula arquitectes – Stem arquitectes (projectistes).

Aquesta integració de les quatre visions ha permès comptar amb una informació prou validada i, a més, també representativa no només del projecte objecte d'estudi (l'edifici de d'HCCU Cal Paler Nou a Cardedeu) sinó també de certes situacions generals que poden tenir lloc en altres projectes i altres obres en el futur, traient-li així la màxima utilitat a aquests estudis.

² Taula extreta de l'informe *Anàlisi de solucions estructurals CAL PALER NOU (Cardedeu)* realitzat per La Constructiva (constructora cooperativa) encarregat per a Sostre Cívic Cooperativa. Es pot trobar l'informe complet a l'annex d'aquest present document.

	PROVEÏDORS	GRUA	MESOS	CI	TOTAL	ORDRE
A1	130.976,35 €	1,00	4,00	53.959,72 €	184.936,07 €	3,00
A2 Arquima	151.154,87 €	-	2,75	19.315,56 €	170.470,43 €	1,00
A2 Armol	169.546,33 €	-	2,75	19.315,56 €	188.861,89 €	4,00
B1	146.506,58 €	1,00	3,25	43.842,27 €	190.348,85 €	5,00
B2	161.228,22 €	1,00	3,50	47.214,76 €	208.442,98 €	6,00
B2 CLT	147.447,20 €	-	3,50	24.583,44 €	172.030,64 €	2,00

Quadre resum del cost (directe + indirecte) estimat per escenari, extret de l'informe Anàlisi de solucions estructurals Cal Paler Nou (Cardedeu) realitzat per La Constructiva Construcció Coop SCCL.

La valoració econòmica global dels sistemes estructurals i de façana per a les plantes superiors d'habitatge A1 (murs de càrrega de blocs de formigó, forjat de biguetes i revoltos), A2 (murs de càrrega i forjats d'entramat de fusta), B1 (estructura metàl·lica amb forjats de xapa col·laborant i formigó) i B2 (la mateixa estructura B1, forjats plafons de fusta contralaminada) dona com a resultats, un cop afegits els costos indirectes, uns preus entre baixos i mitjos (1a o 4a posició segons el proveïdor) pel sistema A2 basat en fusta.

Entre ells se situen (posicions 2a i 3a) els sistemes B2 d'acer i fusta plafons CLT i el sistema A1 de blocs i forjats de formigó, respectivament. En les posicions superiors de preus (5a i 6a) apareixen el sistema B1 de acer i formigó i el sistema B2 acer i fusta muntada a obra.

Aquests resultats pressupostats, pendents de confirmació al llarg d'un procés real d'obra, marquen una tendència econòmicament favorable a la introducció de sistemes constructius amb més nivell d'industrialització en un sector, ara mateix, en el que la construcció convencional és la que predomina. Les diferències de pressupost però, entre les versions de preu més baix de dues alternatives clarament diferents A2, amb 170.470,43 euros, i A1, amb 184.936,07 euros, representen menys d'un 10% sempre després de comptar els costos indirectes (fonamentalment la grua torra). Una altra observació important és que els costos indirectes canvien les tendències inicials (costos directes).

També cal dir que el factor temps, no expressat en diners (tot i que es podria comptar com la disposició anticipada de l'obra, en termes financers i de servei), fa més atractives encara les solucions constructives industrialitzades, que suposen una obra més curta.

Construcció

Es presenten, a continuació, les dades més rellevants d'aquesta part del cicle de vida: l'acció de col·locar els materials nous a l'edifici. La generació de residus pròpia dels sistemes constructius ja està informada a l'apartat anterior.

A continuació es presenten dades d'emissions de CO₂ i energia de la maquinària de posada a l'obra i, en el cas dels residus, únicament es compten els corresponents a embalatges dels materials portats a l'obra.

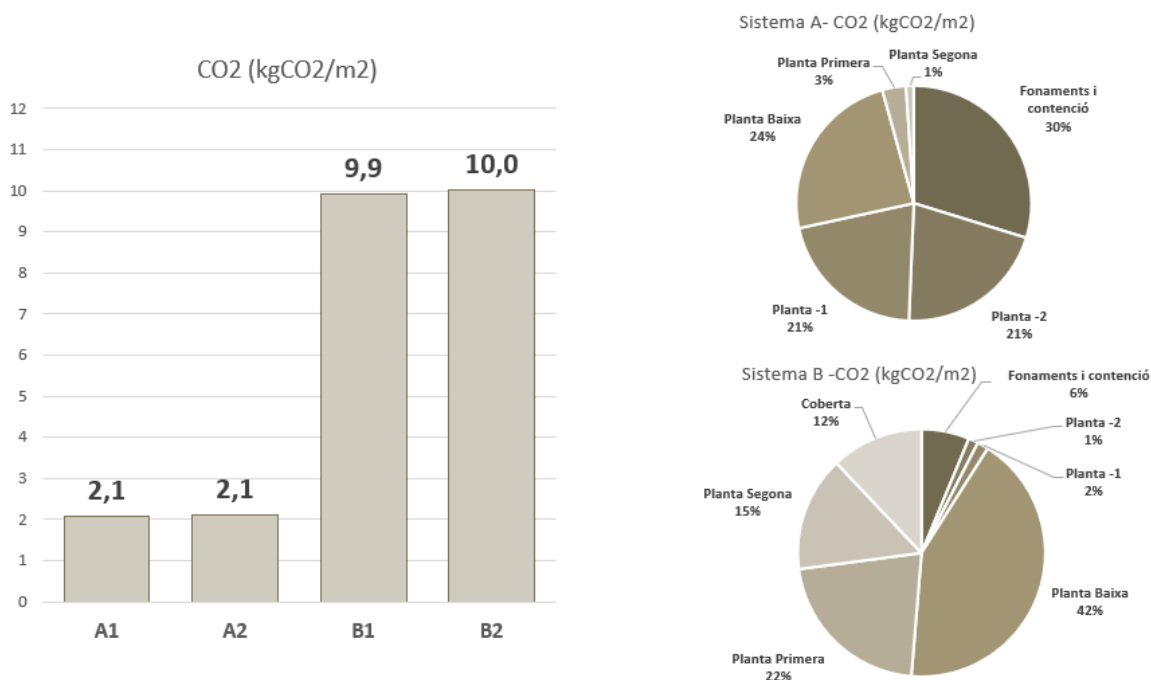
Cal aclarir que ni la grúa torre ni la grua autopropulsada, maquinària indispensable pel moviment vertical de materials i residus en una obra d'aquest tipus, no està inclosa als càlculs ja que no es troba repercutida a les partides del banc BEDEC de l'ITeC.

Per fer-lo caldria estudiar, detalladament, quins moviments del total del temps d'operació d'aquest equips es pot repercutir sobre les operacions només dels capítols corresponents a moviments de terra, fonaments, contencions, estructura vertical i horitzontal, façanes i els seus revestiments, que són els subsistemes constructius tinguts en compte en aquest estudi.

En tot cas, cal dir que en conjunt a tots els processos que tenen lloc al llarg d'una obra d'aquest tipus l'energia i les emissions de CO₂ de les grues i altres equips d'elevació és important però no decisiva a l'hora de diferenciar entre sistemes constructius més o menys consumidors d'elevació in situ, ja que a escala del cicle de vida de l'edifici no representen ni un 1% del total.

Aquest consum energètic de construcció depèn principalment de la configuració i procés de construcció de l'edifici en particular i, com que aquest estudi pretén poder-se aplicar a altres projectes d'habitatge, l'interès se centra en els impactes derivats directament per l'execució dels sistemes constructius estudiats.

Emissions de CO₂

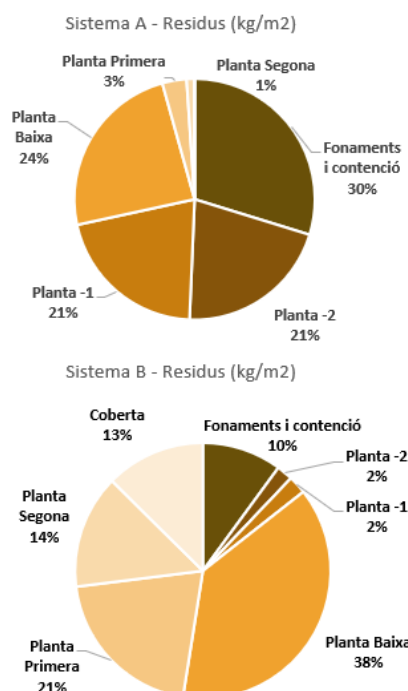
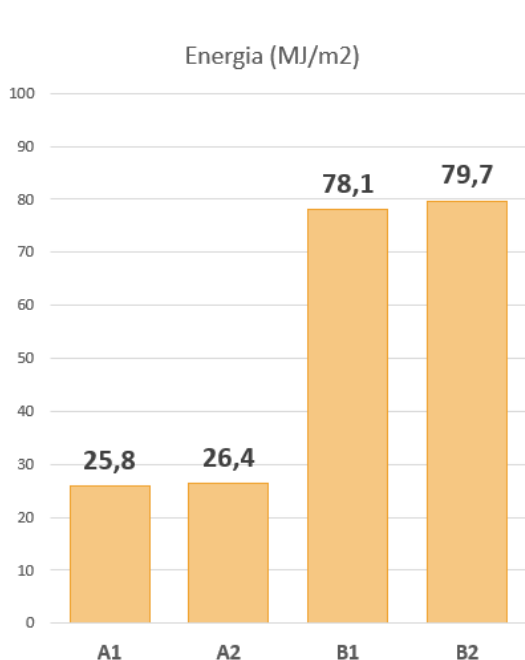


A nivell d'edifici, als sistemes A, el carboni emès per la maquinària es concentra sobretot en les plantes inferiors (amb més diferències de consum energètic entre les de pàrquing i les d'habitatge) mentre que en els sistemes B està repartit entre tots els nivells.

Clarament, els sistemes B gasten més energia per la utilització de la grua autotransportada per l'elevació de les peces metàl·liques de l'estructura i sobretot, per l'equip per soldar els perfils elèctricament.

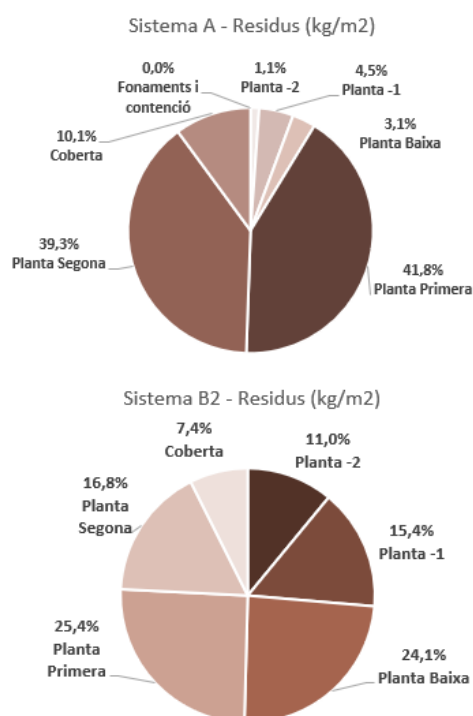
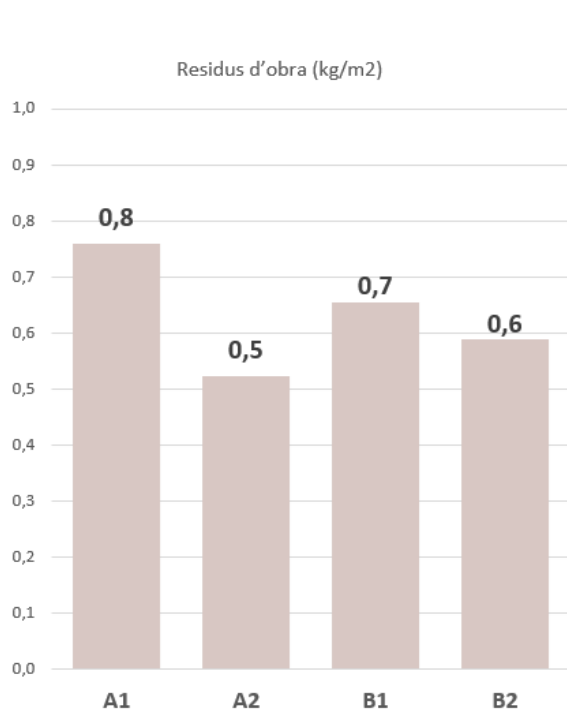
El mateix passa amb la gràfica d'energia de la maquinària que es presenta a continuació.

Energia consumida



Residus embalatges

En canvi, en quant a quantitats de residus dels embalatges dels productes, l'únic sistema que destaca es el A1, un quart per damunt de la resta. Això es deu a que els materials a granel (blocs, morters, etc.) es transporten en palets embolicats amb films plàstics. En canvi, els elements tipus bigues (metàl·liques o de fusta) habitualment es transporten lligades en cordals o filferros, generant menys residus d'embalatges.



Per visualitzar la magnitud que representen els impactes de l'etapa de construcció respecte als de l'etapa de extracció i fabricació dels materials, o respecte del total en l'edifici final, es comparen les seves repercussions amb l'edifici final de referència CIES (com s'ha explicat en l'anterior apartat). S'observa que la repercussió en emissions de CO₂ es quasi irrellevant en aquesta etapa però, en canvi, els residus d'embalatge dels productes se situen entre el 4 i el 6 % respecte al total edifici tal com es mostra en la taula següent.

Etapa CONSTRUCCIÓ	EMISSION CO ₂	RESIDUS EMBALATGES
Repercussió respecte a edifici final CIES	>1%	4 -6 %

Ús + manteniment

El manteniment seria quasi inexistent als subsistemes constructius de fonamentació, estructura general i estructura de façana que es troben protegits per altres materials. I, en tot cas, seria similar a tots els escenaris.

En canvi, els capítols de revestiments sí es detecten diferències de manteniment entre els diferents sistemes. Al càlcul, com ja s'ha explicat anteriorment, s'ha considerat el manteniment dels revestiments de fusta amb l'aplicació per l'exterior d'una solució de lasur (quatre vegades). Però, per altra banda, no es contempla la substitució dels elements d'acabat per esgotament de la seva vida útil, com podria ser la substitució de taulers o plaques. Els repintats periòdics dels paraments de morters.

Per la part de l'ús, caldria comprovar la demanda energètica i de confort de cada sistema ja que encara que s'hagin igualat les transmissibilitats tèrmiques no s'ha considerat, per exemple, la diferència d'inèrcia tèrmica de cada solució constructiva, un concepte dinàmic impossible de fer equivalent a tots els sistemes per la pròpia naturalesa dels materials de cada una d'elles (amb densitats, calor específic, etc., diferents). Aquesta fase del cicle de vida, pel que fa als impactes del condicionament ambiental, com ja ha estat explicat a la metodologia, no es contempla en aquest estudi.

Enderroc + residus

Aquesta fase del cicle de vida està representada als indicadors de contingut de reciclat i les possibilitats de reciclatge del material mostrats a l'apartat anterior de resultats (corresponent a l'etapa d'extracció i fabricació dels materials) perquè es consideren inherents als propis sistemes constructius.

El contingut de reciclat es considera a nivell de cicle industrial del propi material i el percentatge de *reciclabilitat*, a banda de considerar la possibilitat del material a ser reciclat amb les mateixes prestacions originals, també inclou la possibilitat del *infrareciclatge* del material.

Com a resum dels resultats expressats en les gràfiques d'aquests indicadors, es constata que els sistemes humits, que contenen més juntes i tenen una major tendència a l'infracilatge, generen més residus que els components muntats en sec o més industrialitzats. S'arriba així a similars conclusions similars a les d'altres estudis sobre aquest tema.

Els residus que s'han considerat en els anteriors capítols són els que es produeixen a l'obra ja que, per suposar valors d'impacte reduïts, no s'ha considerat què passa amb els residus més enllà o fora d'ella. La càrrega dels residus en un camió, el seu transport a una planta de tractament o triatge, el seu processat i, per últim, la seva disposició final (abocador, incineradora, etc.) no s'han tingut en compte.

Segons estudis existents, aquests valors són molt inferiors comparats amb l'impacte de producció dels materials i sistemes constructius però és veritat que, si es recicla o es reutilitza aquest material inicial, l'impacte final seria més baix.

5. Millores

S'ha de tenir en compte que s'han contemplat solucions al mercat actual però, incorporant materials que fan més sostenible l'obra nova que les convencionals com són els aïllament de fibra de fusta, les plaques de cel·lulosa-guix reciclades (canvi de plaques de cartró-guix convencionals per altres que tenen menys impacte) o els lasurs ecològics a les façanes. En canvi, als capítols d'estructura i fonamentació s'han considerat solucions més convencionals com els aïllaments de poliestirè extruït (XPS) i la llana de roca (que són els aïllants més habituals del mercat actual) o revestiments de cartró-guix. A cap de les solucions ni capítols s'han incorporat productes que estiguin fabricats parcial o totalment amb energia renovable tot i la seva existència al mercat (ceràmic, per exemple). Però, si s'han analitzat solucions constructives amb materials reciclats d'acer o alumini (s'explica a cada solució).

Per això, després de la diagnosi i a la part de fonamentació i estructura, es presenta una sèrie de millores detectades a cada escenari per poder reduir l'impacte ambiental en cada cas.

Aquesta informació es presenta per capítols.

Fonamentació

- Revisar la informació del geotècnic i el càlcul estructural per si existeix la possibilitat de reduir seccions o quanties de la llosa
- Pretensar per reduir quantitats i secció
- Alleugerir formigó
- Nervar amb forma per reduir quantitat de material (cassetons de materials de baix impacte, etc.)

Llosses massises

- Pretensar
- Alleugerir les àrees de la llosa on sigui possible amb nervat o reticulat

Contenció

- Canviar de sistema (gabions, taluds, vigas Pi, etc.)

A1: canvis possibles

- Bloc ciment → Bloc amb residus o e. renovable - Termoargila fabricada amb biogàs
- Llanes de roca → Aïllants naturals o reciclats
- Poliestirè extruït (XPS) → Coberta no invertida amb aïllant de suro o fibra de fusta

A2: canvis possibles

- Contraxapat → Tauler orientats de fibres (OSB, sinó augmenta el gruix per estructura) o barretja de tauler aglomerat amb acabat de contraxapat com els "Superpan"
- Cartró-guix laminat → Placa cel·lulosa-guix reciclades (Fermacell)
- Revisió acústica per optimitzar la solució d'aïllants i grava
- Poliestirè extruït (XPS) → Coberta no invertida amb aïllant de suro, cel·lulosa o fibra de fusta

B1: canvis possibles

- Contraxapat → Tauler orientats de fibres (OSB, sinó augmenta el gruix per estructura) o barretja de tauler aglomerat amb acabat de contraxapat com els "Superpan"
- Cartró-guix laminat → Placa cel·lulosa-guix reciclades (Fermacell)
- Llanes de roca → Aïllants naturals o reciclats
- Poliestirè extruït (XPS) → Coberta no invertida amb aïllant de suro, cel·lulosa o fibra de fusta

B2: canvis possibles

- Contraxapat → Tauler orientats de fibres (OSB, sinó augmenta el gruix per estructura) o barretja de tauler aglomerat amb acabat de contraxapat com els "Superpan"
- Cartró-guix laminat → Placa cel·lulosa-guix reciclades (Fermacell)
- Llanes de roca → Aïllants naturals o reciclats
- Poliestirè extruït (XPS) → Coberta no invertida amb aïllant de suro, cel·lulosa o fibra de fusta
- Revisió acústica per optimitzar la solució d'aïllants i grava

Com s'ha explicat prèviament, els capítols de revestiments ja porten les millores incorporades i s'ha proposat les màximes solucions de mercat de façanes ventilades.

6. Conclusions

Sobre construcció industrialitzada versus construcció in situ

Una reflexió, des del punt de vista de la sostenibilitat, sobre avantatges i desavantatges comparats entre la construcció convencional i la industrialitzada, si es focalitza només en els materials de construcció podria simplificar en excés una realitat que és més complexa. L'ús de materials, productes i sistemes constructius amb un alt grau d'ecoeficiència és una condició necessària però no suficient per a aconseguir majors nivells de sostenibilitat ambiental en l'edificació.

Però unes quantitats excessives de materials, uns processos de producció industrials ineficients, unes unions malament dissenyades que afectin la durabilitat, un transport excessiu en distància o una gestió de l'ús de l'edifici no adreçada cap a l'eficiència energètica poden contrarestar les bones pràctiques inicials i fer que, en el balanç, els resultats siguin iguals o pitjors que els de la construcció convencional.

En aquest estudi i en la proposta productiva i constructiva que representa, però, la industrialització té en compte tots aquests aspectes i per tant aprofita tot el seu potencial de sostenibilitat.

L'avaluació de consum energètic de producció de materials, com s'ha vist en les pàgines precedents, és un bon exemple per il·lustrar aquesta relativitat. La fusta, un material que parteix d'unes bones condicions gràcies al seu origen natural, pot arribar a un impacte ambiental més elevat que el dels materials convencionals a causa dels processos industrials, dels materials complementaris com els adhesius o dels tractaments que se li apliquen. **Però l'avaluació és més completa i més complexa, no es pot reduir a un indicador o a una etapa del cicle de vida. La fusta és, de nou, un exemple però en sentit contrari: si es compara la seva aplicació industrialitzada amb els materials dels sistemes convencionals tenint en compte què passarà al llarg del cicle de vida i amb altres indicadors, com ara emissions de gasos d'efecte hivernacle, tancament de cicles materials, residus sòlids, etc., marca una disminució d'impactes ambientals contundent.**

En aquest sentit, la industrialització, amb el seu rigorós mètode de treball disciplinar, pot col·laborar en la metodologia de quantificació i limitació dels impactes ambientals en totes les escales. I, com s'ha dit a les pàgines introductòries d'aquest informe, presenta una sèrie de potencialitats que, ben aprofitades, poden significar l'assoliment de majors nivells de sostenibilitat en els sistemes constructius. En qualsevol cas es tracta d'un procés a desenvolupar, uns objectius a aconseguir, però no d'una condició inherent a la seva naturalesa de d'execució mitjançant processos industrials.

Sobre la metodologia emprada

Actualment no es disposa de prou dades estadístiques sobre l'impacte ambiental dels materials de construcció per fases del cicle de vida de l'edifici. Les referències són escasses i, a més, alguns estudis estan datats fa anys i han perdut part de la seva vigència. Per tant, és molt important assenyalar que els resultats assolits a nivell quantitatiu tan sols permeten dur a terme una valoració global, de tendències més que de resultats exactes, sobre el tema. Cal tenir present això a l'hora de comunicar els continguts d'aquest estudi i les seves conclusions així com la seva incidència en les decisions que es puguin prendre sobre l'ús d'uns sistemes constructius o altres en el futur.

És important que es promoguin aquest tipus d'estudis cada cert temps de cara a poder actualitzar la informació i la reflexió que suposen així com també disposar de valors de referència nous sobre els qual comparar les propostes d'actuació.

En el cas concret d'aquest treball els aspectes més rellevants de la metodologia en els que es basen les estimacions són: el nivell de detall dels amidaments desenvolupats, l'aproximació al coneixement del projecte que ha estat en evolució, les condicions de la pràctica constructiva actual a la construcció local i les propostes de solucions d'intervenció específiques, tot això alineat als comentaris fets al paràgraf anterior.

Respecte els impactes ambientals considerats, es creu que per a la presa de decisions d'aquesta fase són suficients ja que es basen en una base de dades reconeguda com el banc de partides de construcció i rehabilitació BEDEC de l'ITeC.

Caldria una altra reflexió, a nivell metodològic, sobre com situar aquest tipus d'estudis en relació a la resta de treballs que es realitzen en aquesta fase (proposta arquitectònica, pressupost, participació dels propietaris dels futurs habitatges, etc.) i el paper que tenen en les valoracions i decisions finals que es prenen sobre la definició del projecte.

En aquest sentit, cal reconèixer i agrair l'esforç dels membres dels equips de treball dels projectistes labaula arquitectes i Stem arquitectes, La Constructiva i Sostre Cívic per tal d'adaptar la seva feina als requeriments d'un estudi com aquest que no és habitual en el desenvolupament d'un projecte d'arquitectura i suposa, per tant, esforços addicionals.

Sobre els capítols de fonamentació i estructura

L'anàlisi dels resultats dels principals indicadors (que alhora són representatius d'altres impactes ambientals no mencionats expressament, com per exemple la toxicitat emesa a l'ambient) expressen que els sistemes constructius industrialitzats, especialment els basats en materials d'origen natural amb pocs processos de transformació o tractament afegits com els de fusta i altres productes biosfèrics, presenten avantatges significatius davant de les solucions constructives convencionals o habituals.

Per tant, sembla lògic que gradualment es vagin introduït, sempre amb una validació a partir d'una anàlisi ambiental, en l'obra nova i de rehabilitació tant en edificis públics com privats, d'habitatge i altres usos.

Algunes puntualitzacions:

- les plantes inferiors (fonamentació, planta -2, planta -1 i planta baixa) dedicades a pàrquing tenen una repercussió majoritària en l'impacte total (al voltant de 2/3 parts) respecte de les plantes superiors de habitatge. Això fa que els resultats en els diferents indicadors mostrin poques diferències a nivell general d'edifici, tot i que l'anàlisi dels quatre subsistemes (A1, A2, B1 i B2) per separat presenten impactes ben diferents. Una altra conseqüència és que les millores per reduir l'impacte global hagin de situar-se més a les plantes inferiors de pàrquing que a les superiors d'habitatge.

És una paradoxa, ja que l'ús principal de l'edifici és l'allotjament de les persones que no pas dels cotxes (una obligació derivada del model de mobilitat i la normativa imperants).

- els materials amb impactes més elevats a tots els indicadors són el formigó i l'acer i, després, la fusta. Sempre relacionats amb la quantitat i el pes emprats als diferents sistemes constructius analitzats.
- com s'ha comprovat, els sistemes que contenen més quantitat d'acer i de fusta presenten major proporcions de recursos reciclats, menys residus d'obra, menys pes i per tant, menys MIPS (intensitat material per unitat de servei, inclosos els residus d'extracció i fabricació). Són els únics capaços de tancar cicles dels materials a la natura (materials renovables) o bé al cicle tècnic industrial (materials reciclables) i, en el cas de la fusta, a més es poden compensar les emissions de CO₂ si el material es manté a la construcció en diferents cicles de vida (és a dir, si no es crema o s'enterra). Aquest fet fa marca una diferència important respecte als altres sistemes, encara que l'energia de producció o les emissions de CO₂ siguin semblants ja que tanquen cicles, encaixen en l'economia circular.
- d'altra banda, hi ha sistemes que admeten variacions per tal de millorar-se ambientalment però n'hi ha uns altres on això no és possible. Aquestes variacions o millores poden fer canviar els resultats finals en alguns sistemes i, per tant, l'ordre de les solucions segons els seus avantatges. Per exemple, el sistema d'entramat de fusta admet la variació de la posició de l'aïllant tèrmic a la coberta (protegida a l'interior del propi sistema) augmentant la possibilitat d'incorporar aïllants biosfèrics d'impacte menor. Contràriament, el sistema A1 (blocs de

formigó, juntes humides) no admet aquests tipus de aquest canvis, per tant només hi cap l'optimització dels mateixos materials (producció més neta, canvis de composició, etc.).

- tot i que a nivell d'edifici complet el formigó i l'acer de les plantes inferiors (pàrquing) tenen molta repercussió, en alguns pocs indicadors, per exemple consum energètic de producció dels materials, el sistema A1 (blocs de formigó, juntes humides) és equiparable a la resta de sistemes. Tot i així s'observa que a la resta d'indicadors, sobretot als més importants pel que fa al tancament dels cicles materials, aquest sistema té els resultats més desfavorables.

Sobre els capítols de façanes i revestiments

- les solucions més afavorides a la majoria dels indicadors són les prefabricades de panel sandvitx i in situ d'entramat de fusta. Això és degut a que, a banda de l'ús d'aïllament de fusta a totes les solucions que representa un avantatge comú, els elements de les solucions prefabricades es resolen amb taulers de fusta d'encenalls o fibres aglomerades que contenen una proporció important de material reciclat. I, a més, com que la matèria primera original és fusta, compensen el CO₂ dels seus processos industrials i els de la resta de components de la solució constructiva amb l'absorció de carboni atmosfèric al llarg del procés de formació a l'arbre del que formava part. Per últim, com que són solucions lleugeres respecte als sistemes convencionals de maons, amb molt més pes per unitat de servei, l'impacte resultant és més baix ja que la quantitat de matèria és menor. Aquests bons resultats, però, no es donen en la solució constructiva que emprava l'aïllament tèrmic de poliestirè extruït ja que, com a plàstic que és, els seus impactes són molts elevats tot i les petites quantitats de material emprat en termes de pes.
- al mercat hi ha maons de ceràmica reciclada, un producte que podria aportar una millora per a la solució d'obra de fàbrica de bloc de formigó (A1), reduint impactes com ara el consum energètic de producció, les emissions de CO₂ associades i el MIPS (intensitat material per unitat de servei). Tot i així representaria una mesura pal·liativa però no definitiva, ja com a materials infrareciclables (el maó no tornarà mai a convertir-se en els seus materials components) no poden donar resposta a la condició de suficiència de la sostenibilitat ambiental que és, precisament, el tancament dels cicles materials.
- les solucions de revestiments de façanes amb millors resultats als indicadors més rellevants són les de fusta i les d'alumini. Per una part, els llistons de fusta presenten bons resultats en reciclat i, per altra part, la xapa d'alumini 80% reciclada redueix el seu impacte en MIPS i en carboni incorporat. També són positives les solucions de taulers de fibra de fusta i ciment (Viroc), que millorarien encara més si emprés subestructures de fusta, i la de peces de gres, que podria optimitzar-se si incorporés material reciclat (com altres productes semblants presents en el mercat). Per últim, la de plafons de fibres i ciment (Aquapanel) podria obtenir millores importants si es modifiqués l'acabat estàndard de morter de calç, de gruix important.
- com a possibles millores per als sistemes de peces ceràmiques (ceràmica convencional i gres) tant a l'indicador MIPS com al de reciclat, es podria pensar en taulers produïts parcialment a partir dels sobrants o minvaments de fabricació (reciclatge pre-consum).

Com a conclusió addicional, cal dir que els sistemes amb major grau d'industrialització i facilitat de desmuntatge ofereixen majors possibilitats de tancar cicles, generar menys residus, necessitar menys matèria (menys pes) i, generalment, arriben a resultats inferiors en MIPS (intensitat material per unitat de servei). És el cas dels sistemes A2 i B2. Però, per altra banda, com que són sistemes més lleugers i que no treballen amb massa, necessiten més materials addicionals o complementaris per resoldre els requisits d'aïllament tèrmic així com també certs extradossats per complir els requeriments acústics.

Els materials afegits, si són convencionals, solen augmentar els valors dels impactes com ara les seves emissions de CO₂ i energia de producció. I, sinó són reutilitzats com passa actualment al mercat, redueixen la possibilitat de tancar cicles encara que, respecte al pes total de la solució constructiva de la que formen part, puguin tenir una repercussió molt baixa.

A continuació es presenta una síntesi visual de les solucions constructives de tancaments verticals i els seus revestiments estudiades amb una ponderació de les característiques que s'han considerat més rellevants a l'hora de fer una selecció per a un projecte determinat.

Els colors, del verd al vermell passant pel groc, representen les majors facilitats o dificultats, impactes menors o superiors, determinats segons criteris d'opinió, es a dir sense que representin els resultats d'una escala de puntuació o d'uns càlculs de valoració.

Aquesta informació és de caire orientatiu, no pretén aportar uns criteris de valoració definitius ni terminants, per dos motius. El primer, com s'ha comentat al paràgraf anterior, és que la ponderació és relativa en sí mateixa i pot contenir alguns aspectes subjectius. El segon és que resulta difícil sinó impossible, fer la selecció d'un sistema de tancament o d'acabat sense integrar l'anàlisi en un entorn més gran i complex que és el de la totalitat del projecte.

Per aquestes raons, se suggereix que la lectura d'aquestes taules vagi acompanyada, o més ben dit continuada, per la lectura en profunditat de l'anàlisi presentada al llarg d'aquest informe.

Societat Orgànica
Novembre de 2019
Barcelona

7. Annex – Dades ambientals

A continuació, es mostra un resum de les dades ambientals emprades i altres dades complementàries. En ordre trobem:

1. [Quadre resum dels escenaris finalment considerats realitzat pels projectistes LaBaula Arquitectes i Stem Arquitectes.](#)
2. [Esquema resum dels escenaris amb les solucions constructives analitzades, segons els capítols estudiats a l'edifici.](#)
3. [Sistemes estructurals de les unitats funcionals, proposats i dibuixats pels projectistes LaBaula Arquitectes i Stem Arquitectes.](#)
4. [Sistemes i detalls constructius de les unitats funcionals, proposats i dibuixats pels projectistes LaBaula Arquitectes i Stem Arquitectes.](#)
5. [Extracte de les dades que proporciona el programa TCQGMA per analitzar els impactes dels diferents escenaris. A mode d'exemple, es mostra la solució B1.](#)
6. [Informe econòmic de les solucions estructurals dels diferents escenaris proposats en aquest informe, realitzat per La Constructiva Cooperativa.](#)