

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: La fusta en la construcció industrial: càlcul d'una estructura sostenible i eficient

Document: Resum

Alumna: Gemma Esteve Marés

Tutor: Enric Simon Madrenas

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

Convocatòria (mes/any): Juny 2024

En l'actual context d'evolució constant en el desenvolupament sostenible, la construcció industrial hi té un paper fonamental. Amb el pas del temps, les estructures d'acer i formigó han estat en el centre de mira de la construcció, proporcionant solidesa i resistència als edificis industrials. No obstant això, enfrontats amb els reptes que el nostre planeta actualment experimenta en termes de canvi climàtic i esgotament de recursos, és el moment d'explorar alternatives i plantejar-nos altres tecnologies constructives que plantegin solucions igual de vàlides. En aquest marc, apareix la fusta com a material per una solució constructiva sostenible i eficient.

L'objectiu central del treball, doncs, és el disseny i càlcul d'una nau industrial de 1.200 m^2 , d'ús comercial, concretament un supermercat, situada a Girona. L'estructura principal estarà formada per pòrtics de secció variable, corretges de fusta laminada i tancaments d'entramat lleuger, una síntesi entre resistència, sostenibilitat i eficiència, proporcionant una solució innovadora per als reptes estructurals contemporanis.

Les tasques a realitzar per fer front a l'abast de l'estudi es centraran en calcular l'estructura a partir del CYPE, tenint en compte tots els estats de càrrega possibles segons les condicions de l'entorn i el següent estat de càrrega a cobertes:

Taula 1: Estat de càrregues a coberta

Paràmetre	Valor	Unitats	Descripció
G1	0,22	kN/m^2	Pes propi coberta
G2	0,20	kN/m^2	Pes propi instal·lacions
G3	1,06	kN/m	Pes propi biguetes
Q1	0.40	kN/m^2	Sobrecàrrega d'ús
Vent	Segons combinació	kN/m^2	Vent
Neu	0.40	kN/m^2	Neu

Un cop calculada l'estructura principal (pòrtics principals i entramat lleuger), s'estudiaran les unions, la fonamentació i els tots els detalls constructius que es requereixin. A més a més, per tal de millorar l'eficiència energètica, s'aplicaran criteris específics com analitzar el tipus d'aïllament i minimitzar la demanda energètica per calefacció i refrigeració.

Els materials usats en la solució proposada són la peça clau per tal de maximitzar l'eficiència i la sostenibilitat. En aquest sentit, els elements principals de l'estructura estan fets a base de fusta laminada GL24h. La fusta laminada encolada per l'ús industrial és una pràctica cada vegada més habitual degut als seus avantatges competitius enfront altres materials tradicionals gràcies al seu aspecte estètic, les seves excel·lents propietats físiques i mecàniques, amb resistència superior a la fusta massissa en termes de flexió, compressió, tracció, tallant, lleugeresa i la durabilitat.

Addicionalment, el disseny proposat també contempla la utilització de taulers d'OSB i fibra de fusta

com a aïllant tèrmic en el tancament d'entramat lleuger. Els taulers d'OSB (Oriented Strand Board) són resistents i estables gràcies a la disposició orientada de les làmines de fusta. Aquesta orientació en capes alternades confereix més resistència estructural al tauler. A més a més, com tots els materials derivats de la fusta, destaca per les seves propietats aïllants.

L'altre material destacat del sistema d'entramat lleuger és la fibra de fusta, element que actua com a aïllant termo-acústic derivat de la trituració de fusta natural. En el tancament de la nau proposada podem trobar-hi la fibra de fusta en dos valors de densitat diferent, d'alta densitat i de baixa.



Figura 1: Fusta laminada



Figura 2: Tauler d'OSB



Figura 3: Fibra de fusta

La planta del projecte es troba emplaçada al solar al Carrer Antoni Barnés i Guiltresa, 2, Girona, aquesta parcel·la de $3.532 m^2$ no compta amb cap edificació prèvia. La disposició de la nau dins la parcel·la es pot apreciar al document Plànols, més concretament en els plànols 01 i 02, Situació i Emplaçament, respectivament.

El projecte contempla la construcció d'una planta industrial amb una estructura a base de fusta laminada. El pòrtic principal es resol mitjançant pilars GL24h de $300 \times 500 mm$ amb una coberta a dues Aigües també de fusta GL24h suportada per dues bigues de secció variable, de secció $1.000 \times 300 mm$ al seu punt més baix i de $1.500 \times 300 mm$ al centre de la nau, el que acaba suposant un pendent a coberta del 5 %. Les biguetes que suporten la coberta, es troben situades sobre les jàsseres del pòrtic principal, de secció $100 \times 230 mm$, separades una distància de 2,00 m. Per tal de suportar els esforços del vent lateral amb contravents, s'utilitzaran perfils d'acer S275 de R15 per tal d'actuar com a tirants al primer i últim pòrtic de la nau. Pel que fa als laterals de la nau, es situa una biga entre pilars per tal de subjectar els tancaments de façana, resolts a partir d'un entramat lleuger de fusta, també calculat en el projecte. Referent a la geometria de la nau, té unes dimensions de 25 m el costat curt i 45 m al costat llarg. L'altura màxima es troba al centre de la nau, on les jàsseres arriben fins a 8,57 m.

El tancament de coberta és un panell Thermochip, model TAH amb nucli d'aïllament. Es tracta d'un tancament lleuger, de baixa transmitància tèrmica, amb juntes estanques i ocultes i de ràpida execució i muntatge sobre les corretges de la nau. A l'Annex C: Fitxes tècniques podem trobar els paràmetres principals del tancament.

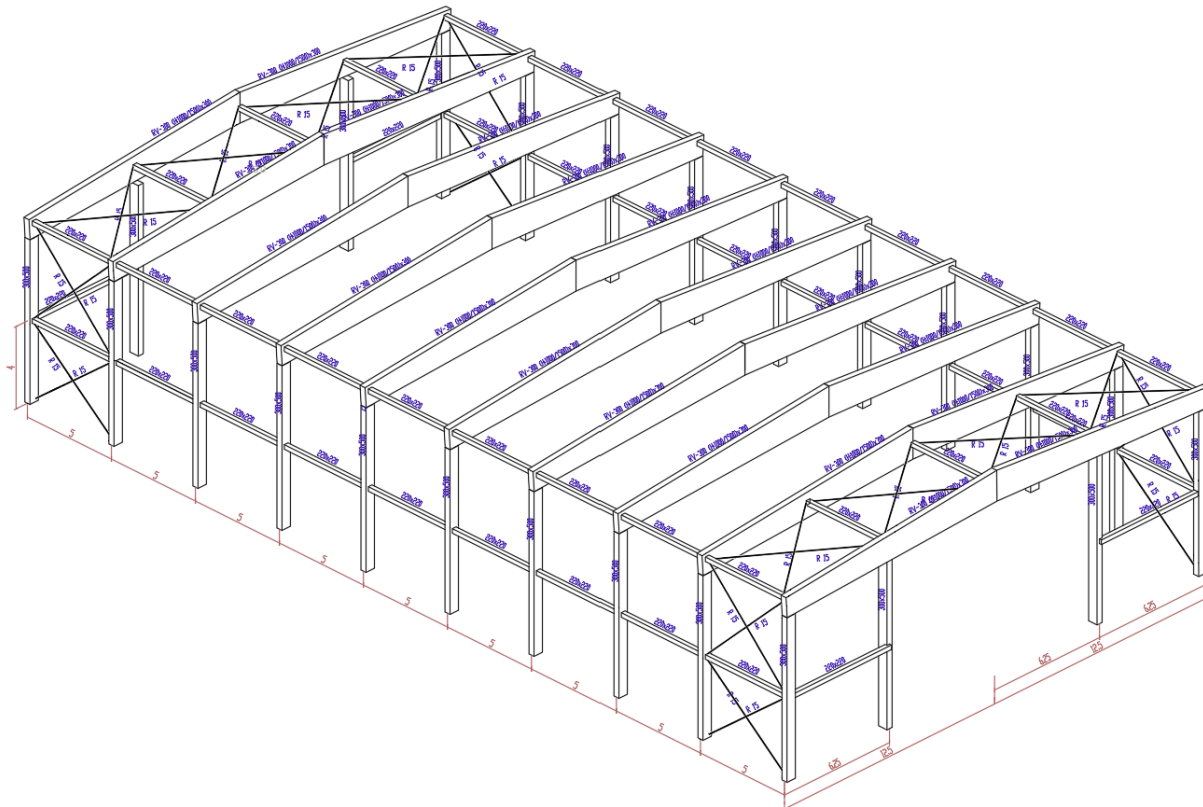


Figura 4: Representació gràfica en 3D de la solució proposada

Els tancaments es resoldran a partir d'entramat lleuger, també calculat en el present projecte. Aquest entramat està format per dues bigues de fusta GL24h de secció 220x220 col·locades de manera horitzontal. A la part més alta del tancament i a la part central, i barres verticals de secció 150x150 col·locades uniformement entre la separació dels pòrtics, amb una separació de 0,91 m. Aquesta és la part principal de l'estructura del tancament, no obstant això, aquestes barres disposaran de l'aïllament tèrmic de fibra de fusta de baixa densitat, col·locat entre els llistons, panells d'OSB de 22 mm i un acabat amb un sistema SATE, a partir de fibra de fusta d'alta densitat i recobert amb morter de silicat. Per la part interior, revestit amb 1.50 cm de pladur.

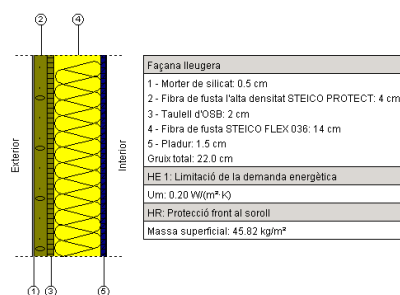


Figura 5: Secció de la solució de tancament proposada

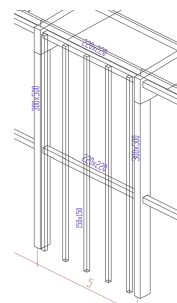


Figura 6: Representació de l'estructura de l'entramat

A la figura 5, es pot veure les capes que conté el tancament, mentre que a la figura 6, podem veure la

representació del CYPE3D de l'estructura principal d'un mòdul del tancament, col·locat entre pòrtics.

La fonamentació es resol a base de sabates quadrades de 260x260x60cm de cantell, amb un armat superior i inferior de 16 Ø cada 20 cm amb pernns d'ancoratge, d'acer B500. Aquesta fonamentació està calculada en funció de la baixada de càrregues als pilars i l'estudi geotècnic adjuntat als Anexos. A la figura 7, es representa de manera gràfica la fonamentació d'una de les sabates centrals de la nau.

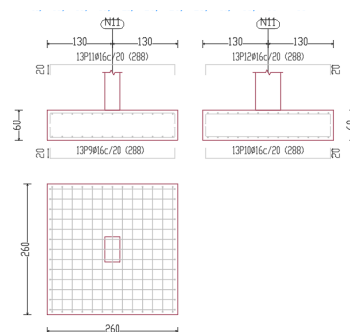


Figura 7: Característiques principals d'una sabata de la fonamentació dels pilars centrals de la nau.

Referent a les unions, s'ha calculat la unió entre la jàssera principal de fusta i el pilar i la unió entre les dues jàsseres principals. La primera es resol mitjançant un encaix entre els dos elements, amb una unió a partir de 4 cargols transversals a l'encaix. Per altra banda, la unió entre les dues jàsseres es resol mitjançant una platina a la part interior dels elements de fusta amb 3 pernns d'unió transversals entre l'estructura i la platina.

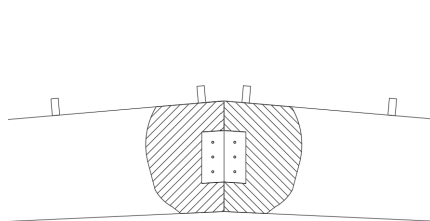


Figura 8: Secció de la solució de tancament proposada



Figura 9: Representació de l'estructura de l'entramat

A nivell tèrmic, s'ha fet un estudi comparatiu entre un tancament convencional i el tancament proposat, del qual s'ha pogut preveure una diferència de 6 kW tèrmics en calefacció. Tot i que aquest valor no pugui semblar significatiu, cal destacar que la proposta amb entramat lleger, figura 10 aconsegueix reduir la secció 5,50 cm, la transmitància tèrmica, passant de 0,36 W/m²K, com s'observa a la 11, a 0.20 W/m²K, alleugerint el pes de manera molt notable, passant d'una massa superficial de 383,50 kg/m² a 45.82 kg/m². Tots aquests aspectes acabaran tenint una repercussió a nivell de generació de residus, temps d'execució, estalvi d'aigua pel fet d'estar construït en sec i emissions de CO₂, ja que s'utilitzen materials que requereixen menys energia i menys contaminants durant el seu procés de producció.

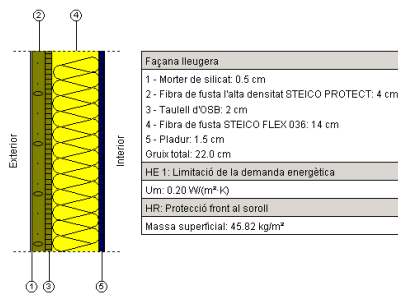


Figura 10: Secció de la solució de tancament proposada

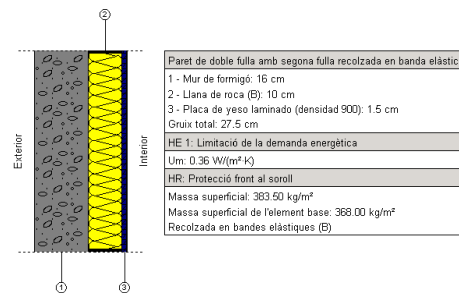


Figura 11: Representació de l'estructura de l'entramat

Un cop desenvolupat el treball, es pot afirmar que s'ha assolit l'objectiu de calcular l'estructura d'una nau industrial a partir de perfils de fusta laminada, així com el càlcul dels tancaments i l'estudi tèrmic. L'ús de la fusta laminada GL24h per a l'estructura de la nau ha demostrat ser una elecció viable i eficaç, altament sostenible. Els càlculs estructurals han confirmat que aquest material ofereix una alta resistència mecànica i estabilitat, capaç de suportar les càrregues permanents i variables imposades per l'ús industrial, en una localització determinada. Entre els seus avantatges, cal destacar que la seva lleugeresa es tradueix a una menor fonamentació i, per tant, la disminució de la utilització de materials menys sostenibles, com el formigó o l'acer. També cal destacar que, referent a la resistència al foc, la fusta laminada ha demostrat que, tot i la combustibilitat inherent de la fusta, pot complir amb els estàndards de seguretat contra incendis gràcies a la seva capacitat de formar una capa carbonitzada que protegeix les parts internes de la peça de fusta.

Els tancaments d'entramat lleuger utilitzats en el projecte han resultat ser molt eficients tant des del punt de vista estructural com del tèrmic. La seva capacitat per aïllar tèrmicament l'interior de la nau és notable, oferint un bon control de la temperatura interior i contribuint a la reducció de les necessitats energètiques per a calefacció i refrigeració. Això es tradueix en un estalvi econòmic a llarg termini i en una reducció de la petjada de carboni de l'edifici. Cal destacar que amb aquest tancament, s'aconsegueix una reducció de la secció respecte a un tancament convencional, oferint millors propietats tèrmiques, estalviant en material, temps d'execució, pes i utilitzant materials sostenibles. I tot això, a partir de construcció en sec.

Processos posteriors a aquest projecte i que no es troben dins a l'abast del mateix són els acabats arquitectònics de la nau, la distribució interior a nivell dels diferents espais que puguin existir i la justificació tècnica refent a incendis, com el càlcul de la càrrega de foc, la sectorització o la descripció dels equips de protecció. També s'hi haurien d'incloure tots els aspectes relacionats amb les instal·lacions, tant de baixa tensió, fontaneria, climatització, ventilació i sanejament.