

**EPS**

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Anàlisi de les característiques tècniques i estructurals dels panells Huurre

Document: Memòria i annexos

Alumne: Marta Gascons i Pagès

Director/Tutor: Joan Andreu Mayugo i Majó

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria mecànica

Convocatòria (mes/any): Febrer de 2015

ÍNDIX

ÍNDIX	I
ÍNDIX DE FIGURES	IV
INDEX DE TAULES.....	V
MEMÒRIA	1
1 INTRODUCCIÓ	2
1.1 ANTECEDENTS	2
1.2 OBJECTE.....	3
1.3 ABAST	3
2 METODOLOGIA.....	6
2.1 BLOC 1. GEOMETRIA	9
2.2 BLOC 2. MATERIAL.....	13
2.3 BLOC 3. VALORS LÍMIT DEL MATERIAL.....	15
2.4 BLOC 4. VALORS ÚLTIMS DEL PANELL.....	17
2.4.1 <i>Flexió de les cares superior i inferior.....</i>	<i>18</i>
2.4.2 <i>Tallant sobre el nucli.....</i>	<i>19</i>
2.4.3 <i>Rigidesa del panell.....</i>	<i>19</i>
2.5 BLOC 5. RESULTATS	19
2.5.1 <i>Panells amb les dues cares planes o lleugerament perfilades:</i>	<i>20</i>
2.5.2 <i>Panells amb una cara perfilada i l'altra plana o lleugerament perfilada</i>	<i>24</i>
3 IMPLEMENTACIÓ.....	27
3.1 GENERALITATS.....	27
3.2 GEOMETRIA.....	27
3.2.1 <i>Taula de càlcul de les característiques geomètriques de la cara superior i inferior</i>	<i>28</i>
3.2.2 <i>Taula de càlcul de les inèrcies.....</i>	<i>38</i>
3.2.3 <i>Taula de resultats</i>	<i>38</i>
3.3 MATERIAL	39
3.4 VALORS LÍMIT DEL MATERIAL I VALORS ÚLTIMS DEL PANELL.....	39
3.4.1 <i>Valors límit del material</i>	<i>39</i>
3.4.2 <i>Valors últims del panell.....</i>	<i>41</i>
3.5 RESULTATS	43
3.5.1 <i>Taula de dades d'entrada</i>	<i>43</i>
3.5.2 <i>Taula de resultats</i>	<i>44</i>

4	RESULTATS	54
4.1	PANELLS HI-PIR/PUR F	54
4.2	PANELLS HI-PIR/PUR ST	55
4.3	PANELLS HI-PIR/PUR CT	56
5	RESUM DEL PRESSUPOST.....	58
6	CONCLUSIONS	59
7	BIBLIOGRAFIA.....	60
	ANNEXOS.....	61
A	DESCRIPCIÓ DE LA NORMA EUROPEA EN-UNE 14509	62
A.1	ESTRUCTURA DE LA NORMA	62
A.1.1	<i>Bloc 1: capítol 5 de la norma</i>	<i>62</i>
A.1.2	<i>Bloc 2: capítol 6 de la norma</i>	<i>63</i>
A.1.3	<i>Bloc 3: capítols 7 i 8 de la norma</i>	<i>64</i>
A.1.4	<i>Annexos de la norma</i>	<i>64</i>
B	ANNEX E DE LA NORMA EN-UNE 14509	71
B.1	GENERALITATS.....	71
B.2	ACCIONS	72
B.2.1	<i>Accions permanents.....</i>	<i>72</i>
B.2.2	<i>Accions variables</i>	<i>72</i>
B.2.3	<i>Accions degudes a efectes a llarg termini.....</i>	<i>72</i>
B.3	RESISTÈNCIA	72
B.3.1	<i>Resistència residual a la flexió (restant) en un suport intermedi.....</i>	<i>72</i>
B.3.2	<i>Capacitat de reacció en el suport de l'extrem</i>	<i>73</i>
B.4	REGLES DE COMBINACIÓ.....	74
B.4.1	<i>Estat límit últim</i>	<i>74</i>
B.4.2	<i>Estat límit de servei.....</i>	<i>75</i>
B.5	COEFICIENTS DE COMBINACIÓ I COEFICIENTS DE SEGURETAT.....	77
B.6	CÀLCUL DELS EFECTES DE LES ACCIONS	79
B.6.1	<i>Anàlisi elàstic</i>	<i>79</i>
B.6.2	<i>Anàlisi plàstic</i>	<i>79</i>
B.6.3	<i>Principis estructurals generals.....</i>	<i>79</i>
B.6.4	<i>Tensions de flexió.....</i>	<i>79</i>
B.6.5	<i>Tensions tallants</i>	<i>80</i>
B.6.6	<i>Reaccions als suports.....</i>	<i>80</i>
B.6.7	<i>Sistema estàtic, geometria i espessor.....</i>	<i>80</i>

B.6.8	<i>Panells sàndwich amb cares planes o lleugerament perfilades</i>	81
B.6.9	<i>Panells sàndwich amb cares fortament perfilades</i>	81
C	PANELLS HUURRE	84
C.1	PANEL HI-PIR CT / HI-PUR CT.....	84
C.1.1	<i>Generalitats</i>	84
C.1.2	<i>Característiques tècniques</i>	85
C.1.3	<i>Fixacions i accessoris</i>	85
C.2	PANEL HI-PIR ST / HI-PUR ST	85
C.2.1	<i>Generalitats</i>	85
C.2.2	<i>Característiques tècniques</i>	87
C.3	PANEL HI-PIR F / HI-PUR F	88
C.3.1	<i>Generalitats</i>	88
C.3.2	<i>Característiques tècniques</i>	89
C.3.3	<i>Fixacions</i>	89
D	ASSAJOS DELS PANELLS HUURRE	91
D.1	DESCRIPCIÓ DELS ASSAJOS	91
D.2	RESULTATS DELS ASSAJOS	93
D.2.1	<i>Panell HI-PIR/PUR F</i>	93
D.2.2	<i>Panell HI-PIR/PUR ST</i>	95
D.2.3	<i>Panell HI-PIR/PUR CT</i>	97
E	PRESSUPOST	99

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.1 Aplicació dels panells Huurre al magatzem robotitzat de CocaCola de València (Font: Huurre Iberica S.A.).	2
Figura 1.2 Panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	4
Figura 1.3 Panell HI-PIR/PUR ST Standard (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	4
Figura 1.4 Panell HI-PIR/PUR ST Llis (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	4
Figura 1.5 Panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	5
Figura 2.1 Esquema general d'un panell sàndwich.	6
Figura 2.2 Esquema del procediment de càlcul.	8
Figura 2.3 Esquema general de les característiques geomètriques d'un panell sàndwich.	9
Figura 2.4 Esquemes d'un tram inclinat, horitzontal i vertical del panel, respectivament.	12
Figura 3.1 Esquema de la simplificació en la geometria dels panells.	29
Figura 3.2 Dibuix i detall del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR F.	29
Figura 3.3 Divisió de trams de la cara superior del panell HI-PIR/PUR F.	31
Figura 3.4 Divisió de trams de la cara inferior del panell HI-PIR/PUR F.	31
Figura 3.5 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR ST Standard.	32
Figura 3.6 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR ST Llis.	32
Figura 3.7 Divisió de trams de la cara superior del perfil HI-PIR/PUR ST.	34
Figura 3.8 Divisió de trams de la cara inferior del perfil HI-PIR/PUR ST.	34
Figura 3.9 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR CT.	35
Figura 3.10 Detall del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR CT.	35
Figura 3.11 Divisió de trams de la cara superior del perfil HI-PIR/PUR CT.	37
Figura 3.12 Divisió de trams de la cara inferior del perfil HI-PIR/PUR CT.	37
Figura 3.13 Esquema general de les característiques geomètriques d'un panell sàndwich.	38
Figura B.1 Corba de càrrega-deformació (fallada gradual amb caiguda progressiva) (Font: Normativa europea EN-UNE 14509).	73
Figura B.2 Corba càrrega-deformació (fallada de sobte amb pèrdua ràpida de la càrrega) (Font: Normativa europea EN-UNE 14509).	73
Figura C.1 Panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	84
Figura C.2 Panell HI-PIR/PUR Standard (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	86
Figura C.3 Panell HI-PIR/PUR Semillis (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	86
Figura C.4 Panell HI-PIR/PUR ST Microperfilat (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	87
Figura C.5 Panell HI-PIR/PUR ST Llis (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	87
Figura C.6 Panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).	89

INDEX DE TAULES

Taula 2.1 Model taula d'utilització del catàleg comercial de Huurre Iberica S.A.....	7
Taula 2.2 Coeficients de seguretat del material γ_m	14
Taula 2.3 Valors característics de resistència.....	16
Taula 3.1 Taula de característiques geomètriques.	28
Taula 3.2 Taula de resultats de les característiques geomètriques.	39
Taula 3.3 Taula dels valors de resistència últims del nucli.....	40
Taula 3.4 Taula dels valors de resistència últims de la cara superior.	41
Taula 3.5 Taula dels valors de resistència últims de la cara inferior.....	41
Taula 3.6 Taula de càlcul dels valors límit del panell.	43
Taula 3.7 Taula de dades d'entrada.	44
Taula 3.8 Taula de resultats.	45
Taula 3.9 Taula de càlculs segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.	47
Taula 3.10 Taula de resultats pel càlcul segons la deformació en panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.....	47
Taula 3.11 Taula de càlculs segons l'esforç tallant en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.....	49
Taula 3.12 Taula de càlculs segons el moment flector en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.	50
Taula 3.13 Taula de càlculs segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.....	50
Taula 3.14 Taula de càlculs segons el moment flector en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.....	52
Taula 3.15 Taula de càlculs segons la deformació en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.	53
Taula 3.16 Taula resum de la implementació pròpia de cada panell.....	54
Taula 4.1 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR F segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació.	55
Taula 4.2 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR ST segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació	56

Taula 4.3 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR CT segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació.	57
Taula B.1 Valors dels coeficients de combinació ψ_0 i ψ_1 en el càlcul per l'E.L.U.	77
Taula B.2 Coeficients de càrrega γ_F	77
Taula B.3 Coeficients de seguretat del material γ_m	78
Taula B.4 Equacions de càlcul per panells amb cares planes o lleugerament perfilades en un, dos i tres trams.	82
Taula B.5 Equacions de càlcul per panells amb una cara perfilada i l'altra plana o lleugerament plana en un, dos i tres trams.	83
Taula C.1 Característiques tècniques del panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica).....	85
Taula C.2 Característiques tècniques del panell HI-PIR/PUR ST (Font: Catàleg general Huurre Iberica).....	88
Taula C.3 Característiques tècniques panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica).....	89
Taula D.1 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR F.	94
Taula D.2 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR ST.	96
Taula D.3 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR CT.....	98
Taula E.1 Costos de realització del projecte.....	99

MEMÒRIA

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

A la dècada dels 80, comencen a aparèixer a Espanya varis fabricants de panells sàndwich de poliuretà amb cares metàl·liques. Raó per la qual es constitueix el Comitè de Normalització de AENOR per productes de construcció AEN/CNT-41 amb el propòsit de reunir el coneixement fins el moment sobre aquest producte.



Figura 1.1 Aplicació dels panells Huurre al magatzem robotitzat de CocaCola de València (Font: Huurre Iberica S.A.).

Al mateix temps, es crea l'Associació de Fabricants de Panells de Poliuretà Injectat d'Espanya (APIP'ÑA), que actua com la veu d'aquesta indústria.

Gràcies a la cooperació entre ambdós, el 1995 s'aprova la norma UNE 41950 per Panells de poliuretà amb capes de cobertura metàl·liques o no metàl·liques. Aquesta norma se centra només en les propietats físiques i mecàniques, sense tenir en compte les propietats constructives, i mantenint la definició del panell com a un element de tancament no estructural.

APIP'ÑA, per la seva banda, té com a objectiu fomentar la qualitat dels panells sàndwich. A partir d'aquesta iniciativa, i juntament amb AENOR, es decideix apostar per la marca N. D'aquesta manera, l'any 2000 s'obtenen els primers certificats.

Quan la Comissió Europea publica la Directiva de Productes de la Construcció, un dels objectius d'aquesta és harmonitzar les certificacions pels productes de construcció en l'àmbit de la UE.

Aquesta norma harmonitzada pels panells havia de contemplar un annex ZA on es donés resposta als requeriments i exigències de tots els estats membres.

Les normes harmonitzades sempre han d'incloure les exigències reglamentàries de tots els països. En el cas dels panells, tot i que en el moment Espanya era l'únic país que tenia norma de producte, al ser voluntària, tenia menys pes que qualsevol dels reglaments d'altres països on els panells es consideren productes de construcció amb funcions estructurals.

Amb tot això, apareix la norma UNE-EN 14509, una norma molt complexa a nivell mecànic però amb un nivell molt baix pel que fa a lavaluació de conformitats.

El novembre de 2008 és publicada en el DOUE, data a partir de la qual comença el període de coexistència de 21 mesos pel mercat CE.

La norma UNE-EN 14509 anul·la l'anterior norma espanyola i dona lloc a l'adequació del reglament de la Marca N de producte a la nova norma europea.

Per aquesta raó, a partir de desembre de 2010 Huurre Iberica, una empresa situada a Cassà de la Selva que es dedica a la fabricació de panells sàndwich, s'ha vist obligada a adequar tota la informació tècnica segons aquesta nova normativa.

1.2 Objecte

Anàlisi de les característiques estructurals dels panells sàndwich tenint en compte la nova norma UNE-EN 14509. Adequar la informació tècnica que ofereix l'empresa Huurre Iberica S.A. als requisits d'aquesta norma.

1.3 Abast

L'anàlisi de les característiques tècniques i estructurals s'aplicarà a una part dels panells frigorífics i dels panells per cobertes i façanes que fabrica Huurre Iberica S.A. Concretament, s'analitzaran els panells HI-PIR/PUR F (figura 1.2), HI-PIR/PUR ST Standard (figura 1.3), HI-PIR/PUR ST Llis (figura 1.4), i HI-PIR/PUR CT (figura 1.5). A més, es tindrà en compte que el panell és irreversible, és a dir la càrrega s'aplica únicament a una cara del panell.

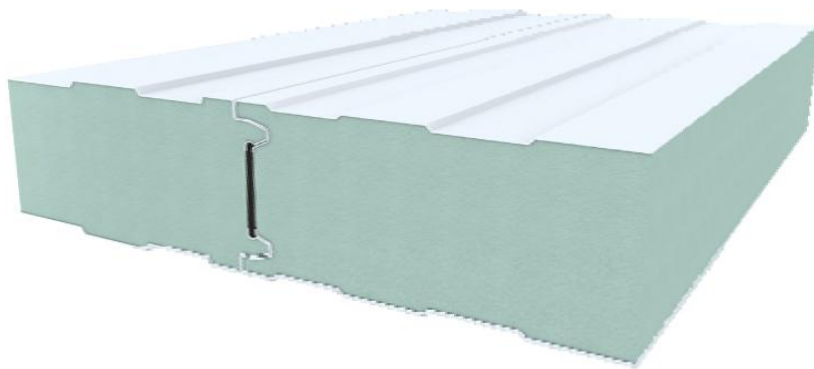


Figura 1.2 Panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura 1.3 Panell HI-PIR/PUR ST Standard (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura 1.4 Panell HI-PIR/PUR ST Llís (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura 1.5 Panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).

L'adequació de la informació tècnica d'aquests panells segons la norma UNE-EN 14509, tindrà especial interès en la seva aplicabilitat estructural, donat que els resultats d'aquest anàlisi serviran per restablir els nous valors de les taules d'utilització del catàleg general de Huurre Iberica S.A.

Existeixen molts *softwares*, com per exemple el programa *SandStad*, destinats a l'anàlisi estructural de panells, però en el cas d'aquest projecte la implementació es duu a terme amb el programa Microsoft Excel per tal de tenir més domini de la informació utilitzada.

2 METODOLOGIA

Els panells sàndwich, són productes industrials dissenyats per a ser utilitzats com a tancaments i aïllants. És un producte lleuger i resistent, donat que està format per dues capes d'acer, que poden estar o no recobertes, i un nucli a l'interior d'escuma. La figura 2.1 mostra un esquema general d'un panell sàndwich.

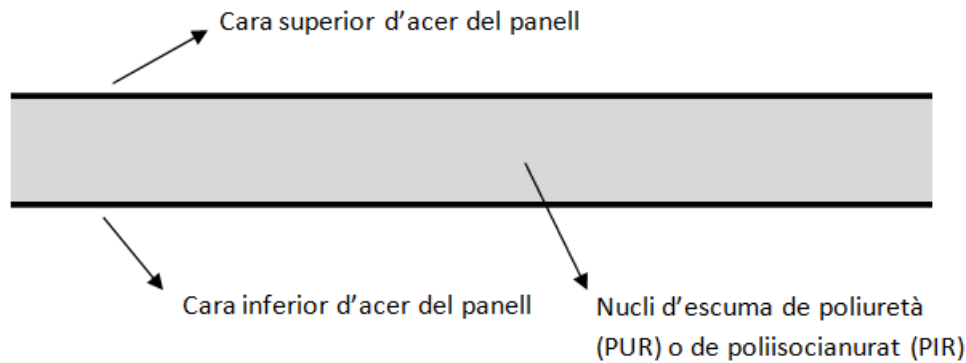


Figura 2.1 Esquema general d'un panell sàndwich.

Recordem que l'objectiu del present projecte és restablir les característiques tècniques d'uns determinats productes segons la nova normativa EN-UNE 14509. La formulació per fer-ho està descrita en l'annex E d'aquesta norma.

A més, en la formulació suggerida per la norma es té en compte una classificació dels panells sàndwich segons la planicitat de les seves cares:

- Panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades.
- Panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada.

Aquesta classificació repercuteix directament sobre els càlculs que proposa la norma.

Existeixen diferents maneres d'enfocar el procediment de càlcul que descriu l'annex E de la normativa. En aquest projecte però, s'escull la manera que més s'adapta a les necessitats de l'empresa Huurre Iberica.

Per tant, s'ha de tenir en compte que aquesta empresa no necessita realitzar de nou els càlculs de tot el panell sinó únicament reestablir uns determinats valors de les taules d'utilització dels seus catàlegs generals. Les taules d'utilització segueixen l'estructura de la taula 2.1.

Taula 2.1 Model taula d'utilització del catàleg comercial de Huurre Iberica S.A.

Espessor (mm)	Càrrega (daN/m ²)		
	Q_1	Q_2	Q_3
e_1	 L_{11}	L_{12}	L_{13}
	 L_{11}	L_{12}	L_{13}
e_2	 L_{21}	L_{22}	L_{23}
	 L_{21}	L_{22}	L_{23}
e_3	 L_{31}	L_{32}	L_{33}
	 L_{31}	L_{32}	L_{33}

A la taula s'observen 4 tipus de dades: les diferents espessors dels panells disponibles per Huurre Iberica S.A., les càrregues que suportaran, els tipus de recolzaments, i per últim les longituds entre suports dels panells. Les tres primeres funcionen com a dades d'entrada, mentre que la longitud depèn directament de les altres.

Aquesta taula és l'eina que utilitza el projectista a l'hora de dissenyar l'aïllament o el tancament de qualsevol zona amb productes de Huurre Iberica S.A. La seva forma d'utilització pot ser diversa:

- Es coneix la càrrega i les dimensions de la zona a aïllar o tancar. A partir d'aquí s'escull l'espessor adient.
- La normativa nacional fixa un valor per l'espessor d'aïllament o tancament. Es coneix la càrrega que haurà de suportar, i a partir d'aquí s'escull la longitud necessària perquè es compleixin els requisits del client.

En l'actual catàleg, la determinació de la longitud ve donada segons la fletxa màxima permesa, calculada segons l'equació 30 del final d'aquest capítol, però la norma EN-UNE 14509 fixa un altre procediment per al càlcul dels panells. Així doncs, caldrà restablir els actuals valors de longitud pels nous valors determinats a partir dels procediments descrits a la normativa.

Per a obtenir els valors resultants, s'ha seguit un procediment que segueix l'esquema descrit a la figura 2.2. Aquest procediment consta de 4 grans blocs. Cadascun d'aquests blocs té unes dades d'entrada, un procediment i càlculs, i unes dades de sortida. I, mitjançant la combinació de tots quatre s'obtenen els resultats finals.

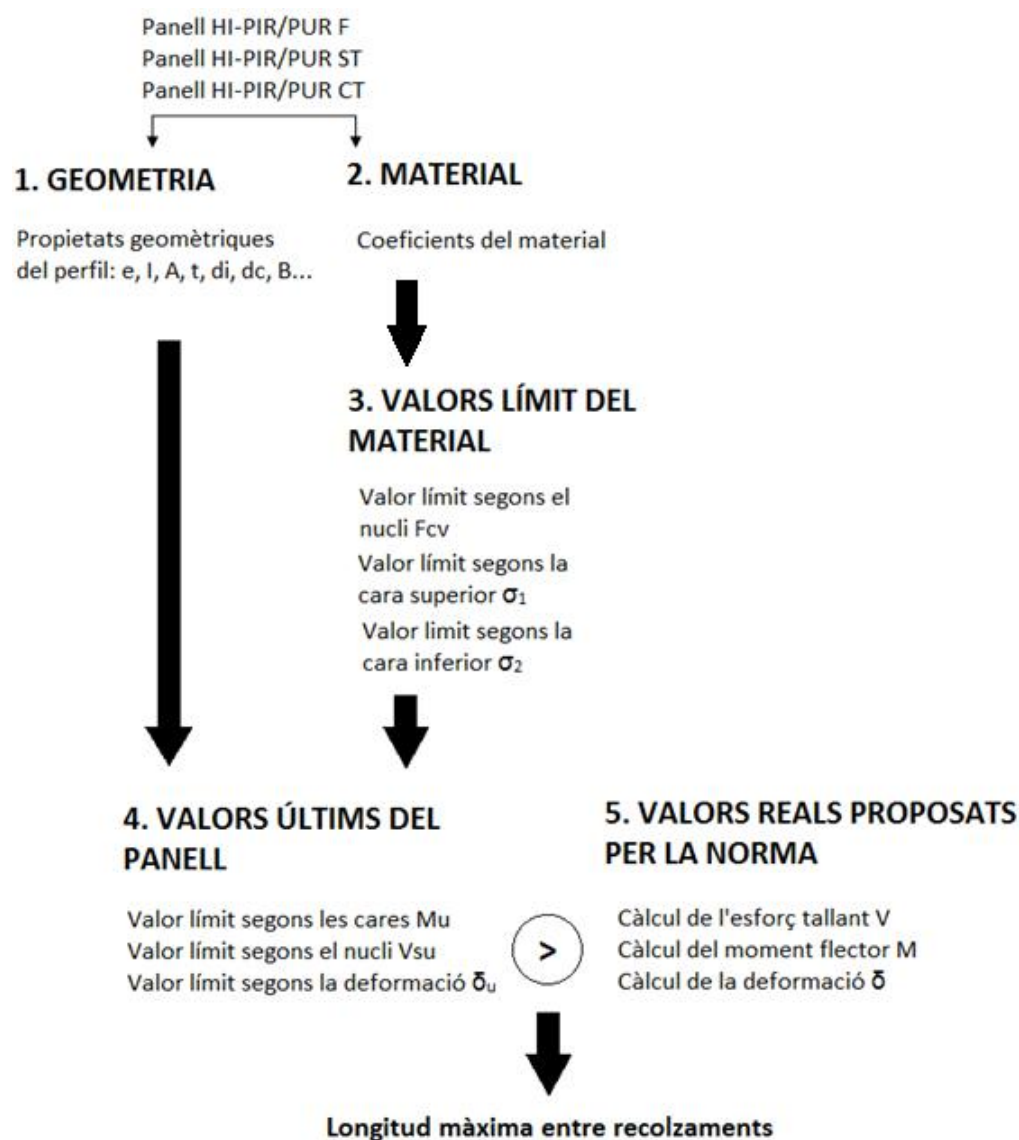


Figura 2.2 Esquema del procediment de càlcul.

Tal i com s'observa a l'esquema, la geometria i el material dependran de cada tipus de panell. Pel que fa a la geometria, les dades de sortida d'aquest bloc són utilitzades en el bloc 3. Les dades referents al material en canvi, són necessàries al bloc 4.

Així, en el bloc 3, a partir dels valors de resistència de cada part del panell obtinguts dels assajos certificats de Huurre Iberica S.A., i juntament amb els coeficients de seguretat del material del bloc 2, s'aconsegueixen els valors de resistència límit del panell minorats.

En el bloc 4, a partir dels valors obtinguts en l'1 i el 3, i segons el valor de l'espessor i les càrregues a suportar del panell, s'obtenen els valors últims d'esforç del panell a flexió: moment flector últim, esforç tallant últim i deformació última.

Per últim, al bloc 5 es calculen els esforços reals del panell segons un espessor i una càrrega determinada, de forma totalment analítica. A partir d'aquí, la determinació de la longitud màxima entre recolzaments ve donada per l'últim valor de longitud on els esforços reals (bloc 5) són inferiors als esforços últims (bloc 4).

Els apartats 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 i 2.5 analitzen els diferents blocs amb més detall.

2.1 Bloc 1. GEOMETRIA

L'objectiu d'aquest bloc és determinar unes variables geomètriques que seran necessàries per als càlculs d'altres blocs. Per tant, cal descriure tant el procés de càlcul per a l'obtenció d'aquestes com la resta les variables que hi intervenen.

Pel que fa a les variables, tot seguit es descriuen segons siguin d'entrada o sortida amb l'ajuda de l'esquema que mostra la figura 2.3.

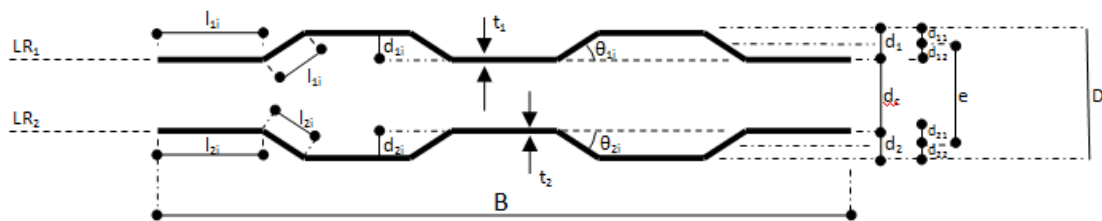


Figura 2.3 Esquema general de les característiques geomètriques d'un panell sàndwich.

VARIABLES D'ENTRADA:

L_{R1} : línia de referència de la cara superior.

L_{R2} : línia de referència de la cara inferior.

l_{1i} : longitud de cadascun dels trams de la cara superior¹.

l_{2i} : longitud de cadascun dels trams de la cara inferior¹.

D : gruix del panell (nucli + cara superior + cara inferior).

d_c : espessor del nucli.

d_{1i} : distància des de la línia de referència fins al centroide de cada tram de la cara superior¹.

d_{2i} : distància des de la línia de referència fins al centroide de cada tram de la cara inferior¹.

Φ_{1i} : angle d'inclinació de cada tram del perfil superior¹.

Φ_{2i} : angle d'inclinació de cada tram del perfil inferior¹.

B_1 : amplada total de la cara superior del panell.

B_2 : amplada total de la cara inferior del panell.

T_1 : gruix de la cara superior.

T_2 : gruix de la cara inferior.

Les variables d'entrada són proporcionades per l'empresa Huurre Iberica S.A.

VARIABLES DE SORTIDA:

d_1 : profunditat de la cara superior.

d_{11} : diferència entre el centroide i la profunditat de la cara superior.

d_{12} : centroide de la cara superior

d_2 : profunditat de la cara inferior.

d_{21} : diferència entre el centroide i la profunditat de la cara inferior.

d_{22} : centroide de la cara inferior.

e : distància entre centroides de els dues cares.

A_{F1} : àrea de la secció transversal de la cara superior.

A_{F2} : àrea de la secció transversal de la cara inferior.

I_{F1} : moment segon d'inèrcia de l'àrea de la cara superior.

I_{F2} : moment segon d'inèrcia de l'àrea de la cara inferior.

Pel que fa al procés de càlcul, el primer que cal determinar són les distàncies d_1 , d_{11} i d_{12} . On d_1 correspon a la d_i màxima de la cara superior, i d_{12} i d_{11} s'obtenen mitjançant les següents expressions:

$$d_{12} = \frac{\sum l_{1i} \cdot d_{1i}}{\sum l_{1i}} \quad \text{Eq. 1}$$

¹ La divisió per trams es detalla als apartats 3.2.1.1, 3.2.1.2 i 3.2.1.3 del capítol 3 d'implementació.

$$d_{11} = d_1 - d_{12} \quad \text{Eq. 2}$$

Aquest mateix càlcul s'ha de realitzar per les dues cares del panell. Per tant, en la cara inferior

d_2 correspon a la d_i màxima d'aquesta cara i d_{21} i d_{22} s'obtenen de la següent manera:

$$d_{22} = \frac{\sum l_{2i} \cdot d_{2i}}{\sum l_{2i}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$d_{21} = d_2 - d_{22} \quad \text{Eq. 4}$$

A partir dels valors de les diferents distàncies calculades anteriorment, s'obté la distància entre els centroides de les cares del panell, altrament dit espessor efectiu a flexió:

$$e = d_c + d_{12} + d_{21} \quad \text{Eq. 5}$$

En segon lloc, és necessari determinar el valor de les àrees transversals de les dues cares. Per això s'utilitzen les formules descrites a continuació:

$$A_{F1} = t_1 \cdot \sum l_{1i} \quad \text{Eq. 6}$$

$$A_{F2} = t_2 \cdot \sum l_{2i} \quad \text{Eq. 7}$$

A partir d'aquests valors es determina la inèrcia de les dues cares seguint els càlculs que es descriuen tot seguit.

Pel que fa a la inèrcia de la cara superior:

$$I_1 = \sum (I_{x_{1i}} + A_{1i} \cdot \Delta d_{1i}^2) \quad \text{Eq. 8}$$

On,

Δd_{1i} és la distància entre el centroide del panell i el centroide de cada tram del perfil superior.

$$\Delta d_{1i} = d_{12} - d_{1i} \quad \text{Eq. 9}$$

$I_{x_{1i}}$ és la component I_{11} de la matriu $[I]$. Donat que existeixen trams amb una certa inclinació, la matriu $[I]$ ve determinada per la següent equació:

$$I = R^T \cdot I' \cdot R \quad \text{Eq. 10}$$

On,

$I' = \begin{bmatrix} I_{x_{1iH}} & 0 \\ 0 & I_{x_{1iV}} \end{bmatrix}$ equivaldria a la matriu $[I]$ sense tenir en compte les inclinacions. Les dues components d'aquesta s'obtenen a partir de les expressions següents:

$$I_{x_{1iH}} = \frac{1}{12} \cdot l_{1i} \cdot t_{1i}^3 \quad \text{Eq. 11}$$

$$I_{x_{1iV}} = \frac{1}{12} \cdot t_{1i} \cdot l_{1i}^3 \quad \text{Eq. 12}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\Phi_{1i} & \sin\Phi_{1i} \\ -\sin\Phi_{1i} & \cos\Phi_{1i} \end{bmatrix} \text{ és la matriu rotació.} \quad \text{Eq. 13}$$

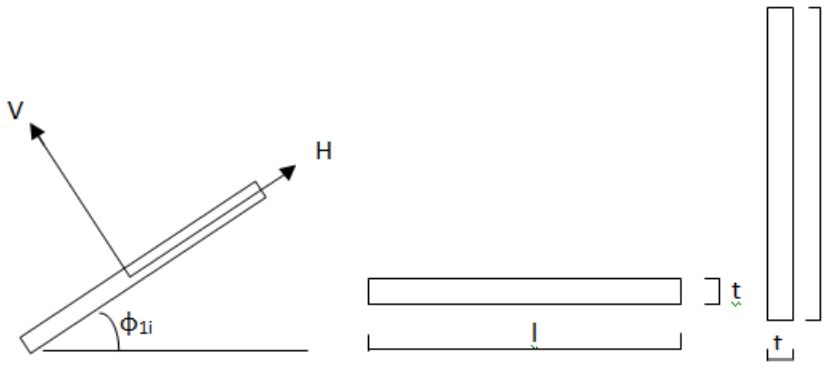


Figura 2.4 Esquemes d'un tram inclinat, horitzontal i vertical del panel, respectivament.

Pel que fa a la inèrcia de la cara inferior el procediment és semblant, per tant:

$$I_2 = \sum (I_{x_{2i}} + A_{2i} \cdot \Delta d_{2i}^2) \quad \text{Eq. 14}$$

On,

Δd_{2i} : és la distància entre el centroid del panell i el centroid de cada tram del perfil inferior.

$$\Delta d_{2i} = d_{22} - d_{2i} \quad \text{Eq. 15}$$

$I_{x_{2i}}$ és la component I_{11} de la matriu $[I]$. Donat que existeixen trams amb una certa inclinació, la matriu $[I]$ ve determinada per la següent equació:

$$I = R^T \cdot I' \cdot R \quad \text{Eq. 16}$$

On,

$I' = \begin{bmatrix} I_{x_{2iH}} & 0 \\ 0 & I_{x_{2iV}} \end{bmatrix}$ equivaldria a la matriu $[I]$ sense tenir en compte les inclinacions. Les dues components d'aquesta s'obtenen a partir de les expressions següents:

$$I_{x_{2iH}} = \frac{1}{12} \cdot l_{2i} \cdot t_2^3 \quad \text{Eq. 17}$$

$$I_{x_{2iV}} = \frac{1}{12} \cdot t_2 \cdot l_{2i}^3 \quad \text{Eq. 18}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\Phi_{2i} & \sin\Phi_{2i} \\ -\sin\Phi_{2i} & \cos\Phi_{2i} \end{bmatrix} \text{ és la matriu rotació.} \quad \text{Eq. 19}$$

En definitiva, en el bloc 1 s'acaben obtenint les propietats geomètriques necessàries per fer un anàlisi a flexió del panell.

2.2 Bloc 2. MATERIAL

Aquest bloc tracta de dos aspectes. D'una banda, es determinen els coeficients que depenen directament del material, i de l'altra s'analitzen els diferents tipus de panells als que cal aplicar-los el nou procediment de càlcul descrit per la norma.

Pel que fa als coeficients, aquests únicament inclouen el coeficient de seguretat del material. Aquest coeficient s'utilitza al bloc 3 com a índex de seguretat dels valors de resistència obtinguts en els assajos.

Segons la norma, el coeficient de seguretat dels materials γ_m , no només depèn del material, sinó que també varia per a cada propietat mecànica del panell sàndwich. A més, el seu valor també es diferencia en funció de si els càlculs es realitzen per l'estat límit de servei o per l'estat límit últim.

Per tant, cal determinar el valor d'aquest coeficient per a cada assaig realitzat al panell de cadascuna de les propietats mecàniques. El seu valor es pot determinar mitjançant les equacions que es descriuen a continuació:

Per l'estat límit últim:

$$\gamma_m = 1,05 \cdot e^{2,115v} \quad \text{Eq. 20}$$

Per l'estat límit de servei:

$$\gamma_m = 1,05 \cdot e^{0,755v} \quad \text{Eq. 21}$$

On,

V : variància de $L_n(x)$.

X : població de resultats d'assaig.

En el cas d'aquest projecte, per decisió de l'empresa Huurre Iberica els càlculs es realitzen per l'estat límit últim, i donat que no existeixen els valors corresponents dels assajos requerits per la normativa, s'utilitzen els valors indicatius descrits a la taula 2.2 tal i com suggereix la mateixa normativa en aquests casos.

Taula 2.2 Coeficients de seguretat del material γ_m .

Propietat a la que se li aplica γ_m	Estat límit últim	Estat límit de servei
Fluència en una de els cares metàl·liques	1,1	1,0
Arrugament d'una cara metàl·lica d'un tram	1,25	1,1
Arrugament d'una cara metàl·lica en dos trams	1,25 ^a	1,1
Esforç tallant del nucli	1,5	1,1
Fallada per esforç tallant d'una cara perfilada	1,1	1,0
Aixafament del nucli	1,4	1,1
Reacció del suport sobre una cara perfilada	1,1	1,0
Fallada d'una fixació	1,33 ^b	1,0 ^b
Fallo d'un element en un punt de connexió	1,33 ^b	1,0 ^b

^a El coeficient del material per l'arrugament en l'estat límit últim és necessari si el càlcul es basa en l'anàlisi elàstic o si s'utilitza una resistència a la flexió diferent de zero en el suport intermedi en un càlcul basat en l'anàlisi plàstic.

^b Si el valor característic de la força d'una fixació no es basa en un número suficient d'assajos per obtenir un valor estadísticament significatiu, s'ha d'utilitzar un valor major per als coeficients del material.

Tant la geometria com el material són característiques tècniques que depenen directament del tipus de panell. Per aquesta raó, el bloc 2 també fa referència als tipus de panells que s'estudien en el present projecte.

De tots els productes que ofereix Huurre Iberica S.A., l'empresa va decidir restablir els nous valors de longitud únicament als productes més freqüents en vendes.

Aquests productes són tres tipus de panells: HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR ST i HI-PIR/PUR CT. A més, pel que fa al HI-PIR/PUR ST es tenen en compte dues varietats d'aquest, el HI-PIR/PUR ST Standard i el HI-PIR/PUR ST Llís.

A l'annex C es presenten els tres tipus de panells, des de les generalitats, les característiques tècniques, i fins a les fixacions necessàries en cadascun d'ells. A més, inclou les imatges dels

tres panells, on es pot apreciar la seva geometria. Entre tota la informació existent, és important tenir en compte les següents característiques per tal de poder entendre la metodologia de càlcul emprada:

Els panells HI-PIR/PUR F, poden utilitzar-se tant en tancaments horitzontals com verticals. Les seves cares són lleugerament perfilades o llises.

Els panells HI-PIR/PUR ST, són panells dissenyats per a un muntatge vertical o horitzontal. Pel que fa a la varietat Llisa, aquesta té una cara totalment llisa i l'altra lleugerament perfilada. La varietat Standard, en canvi, té les dues cares lleugerament perfilades.

Els panells HI-PIR/PUR CT, estan dissenyats per a col·locar-se en cobertes. A diferència de la resta, té una cara perfilada i l'altra lleugerament perfilada.

2.3 Bloc 3. VALORS LÍMIT DEL MATERIAL

L'objectiu del bloc 3 és obtenir els valors límit de resistència del panell.

En el bloc anterior s'ha explicat que els panells estan formats per dues cares d'acer separades per un nucli d'escuma de poliuretà o poliisocianurat. És evident doncs, que el comportament mecànic de les cares serà diferent del nucli.

Per tant, caldrà determinar tres resistències límit diferents:

σ_{u1} : Resistència de la cara superior.

F_{cv} : Resistència del nucli.

σ_{u2} : Resistència de la cara inferior.

La segona cosa a tenir en compte és que les cares i el nucli no estaran sotmeses a un mateix tipus d'esforç. En les aplicacions més comunes, la cara superior estarà comprimida, la inferior traccionada i el nucli estarà sotmès a un esforç tallant.

Per a dur a terme l'anàlisi a flexió dels panells, aquest projecte se centra en una situació de càrrega distribuïda sobre la cara superior del panell, ja que Huurre Iberica S.A. utilitza aquesta mateixa hipòtesi en les taules d'utilització dels seus catàlegs.

A la taula 2.3 es descriuen i es classifiquen tots els valors característics de resistència que actuen sobre el panell.

Taula 2.3 Valors característics de resistència.

Valors característics de resistència	
Nucli	Resistència a l'esforç tallant del material del nucli
	Resistència a la compressió del material del nucli
	Resistència d'esforç tallant després d'una càrrega a llarg termini (només per a panells de cobertes i teulats)
Cares superior i inferior	Límit elàstic del material de les cares
	Tensió d'arrugament (tensió positiva i negativa) a T ^a normal i elevada.
	Tensió d'arrugament sobre un suport central (flexió positiva i negativa a T ^a ambient i T ^a elevada) determinada a partir del moment flector (només per a panells continus de més de dos o més trams)

Pel que fa al nucli, aquest pot trencar-se per l'esforç tallant, per compressió, o, en el cas dels panells utilitzats en cobertes i teulats, com és el cas del panell HI-PIR/PUR CT, també pot trencar per esforç tallant causat per una càrrega a llarg termini i per fluència del nucli.

De la mateixa manera, les cares superior i inferior poden trencar-se al superar el límit elàstic o per arrugament. A més, en el cas de panells continus de dos o més trams s'afegeix un nou valor d'arrugament.

Els valors de totes les resistències que es mostren a la taula 2.3 són dades experimentals obtingudes a partir dels assajos dels panells que es descriuen en l'annex D.

Aquest annex, inclou tant les característiques tècniques com les mecàniques dels panells HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR ST i HI-PIR/PUR CT. Aquestes característiques s'han obtingut a partir dels assajos de caracterització de panells de cobertura metàl·lica realitzats segons la norma EN-UNE 14509 per l' *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja* (IET_{CC}).

Els assajos de l' IET_{CC} s'han realitzat per separat segons tractin de les característiques tècniques o mecàniques dels panells.

Pel que fa a les característiques tècniques, bàsicament es tracta d'assajos referents a la densitat de l'escuma i a les toleràncies dimensionals dels panells.

Per les característiques mecàniques, es realitzen assajos diferents segons el tipus de resistència a determinar: bàsicament assajos a flexió i assajos de rigidesa.

Totes elles estan degudament classificades en taules segons corresponguin al panell HI-PIR/PUR F (taula D.1), HI-PIR/PUR ST (taula D.2) i HI-PIR/PUR CT (taula D.3).

De totes les maneres que tenen de trencar-se el nucli, les cara superior i la inferior, en cadascun dels tres casos hi haurà una resistència que serà més limitant que les altres. Aquest valor limitant serà el mínim.

La determinació del valor limitant o mínim però, es realitza a partir dels valors minorats de les resistències característiques.

Per tant, en primer lloc cal determinar aquest valor minorat R_d :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{Eq. 22}$$

On,

R_k : resistència característica.

γ_M : coeficient de seguretat del material.

A partir d'aquestes dades minorades, les resistències a compressió (τ_{u1}), a tracció (τ_{u2}) i a tallant del nucli (F_{cv}) s'obtenen aplicant les següents expressions:

$$\tau_{u1} = \min (R_{d1i}) \quad \text{Eq. 23}$$

$$\tau_{u2} = \min (R_{d2i}) \quad \text{Eq. 24}$$

$$F_{cv} = \min (R_{dNi}) \quad \text{Eq. 25}$$

On,

R_{d1i} : resistències característiques que afecten a la cara superior del panell.

R_{d2i} : resistències característiques que afecten a la cara inferior del panell.

R_{dNi} : resistències característiques que afecten al nucli del panell.

Per últim, fer notar que tot i obtenir tres valors límit de resistència, el panell únicament trencarà per una d'elles, que serà novament la més limitant.

2.4 Bloc 4. VALORS ÚLTIMS DEL PANELL

En aquest bloc, amb les dades geomètriques del bloc 1 i els valors límit del bloc 3, s'obtenen analíticament els valors dels moments flectors i les forces últimes del panell.

La cara metàl·lica superior, el nucli i la cara metàl·lica inferior del panell estan formats per materials diferents (apartat 2.2) i a més presenten una geometria també diferent (apartat 2.1). Per tant, de la mateixa manera que en el bloc anterior, existiran tres valors límits diferents: un per cadascuna de les cares i un pel nucli.

A més, cal tenir en compte que els càlculs que s'han de realitzar han de seguir les situacions de càrrega ja establertes en els catàlegs generals de Huurre Iberica S.A. Donat que la situació que ells plantegen és una càrrega uniformement distribuïda, el procediment de càlcul utilitzat és com el que es mostra als apartats 2.4.1, 2.4.2 i 2.4.3.

2.4.1 Flexió de les cares superior i inferior

La cara superior, degut a la càrrega uniformement distribuïda, es veu afectada per una força de compressió causada pel moment flector sobre el panell. Així, per aquesta cara cal calcular el valor del moment últim que admet:

$$M_{u1} = \tau_{u1} \cdot e \cdot A_{F1} \quad \text{Eq. 26}$$

On,

e : distància entre centroides de les cares del panell.

A_{F1} : àrea transversal de la cara superior del panell.

τ_{u1} : resistència a compressió minorada.

La cara metàl·lica inferior en canvi, estarà sotmesa a una força de tracció causada pel moment flector al que es troba sotmès el panell. Per aquesta cara, per tant, també es calcula el valor del moment últim que admet:

$$M_{u2} = \tau_{u2} \cdot e \cdot A_{F2} \quad \text{Eq. 27}$$

On,

e : distància entre centroides de les cares del panell.

A_{F2} : àrea transversal de la cara inferior del panell.

τ_{u2} : resistència a tracció minorada.

Tot i haver calculat un moment flector per a cadascuna de les cares, és evident que un d'ells serà més limitant que l'altre. Per tant, la flexió de les cares vindrà representada pel valor mínim entre els dos moments:

$$M_u = \min (M_{u1}, M_{u2}) \quad \text{Eq. 28}$$

2.4.2 Tallant sobre el nucli

Pel que fa al nucli, al ser més flexible que les cars d'acer, no es veu afectat directament pel moment flector. Per tant, el nucli està sotmès a un esforç tallant:

$$V_{su} = F_{Cv} \cdot e \cdot B \quad \text{Eq. 29}$$

On,

e : distància entre centroides de les cares del panell.

B : amplada del panell.

F_{Cv} : resistència a tallant del nucli minorada.

2.4.3 Rigidesa del panell

A més d'obtenir els valors límits del panell pel que fa a flexió de les cares M_u i a l'esforç tallant sobre el nucli V_{su} , també cal determinar el valor límit de la rigidesa del panell que ve representada per la deformació.

El valor de la deformació del panell s'obté a partir de l'expressió següent:

$$\delta_u = \frac{L}{200} \quad \text{Eq. 30}$$

On,

L : longitud entre suports del panell.

2.5 Bloc 5. RESULTATS

L'objectiu d'aquests càlculs és obtenir la longitud màxima entre recolzaments que sigui capaç de suportar una càrrega determinada tenint en compte la geometria del panell.

Abans d'iniciar els càlculs, cal recordar que el procediment descrit fins al moment s'ha d'aplicar a tres panells diferents: HI-PIR/PUR ST, HI-PIR/PUR F i HI-PIR/PUR CT. A més, a les taules d'utilització de Huurre Iberica S.A. cada tipus de panell té unes espessors nominals determinades, i per a cadascuna d'aquestes espessors existeixen diferents situacions de càrrega. Per tant, l'objectiu d'aquest bloc és determinar la longitud màxima entre suports per a totes les situacions descrites en aquestes taules.

Pel que fa als càlculs, la norma EN-UNE 14509 ens proposa un conjunt d'expressions de càlcul.

Aquestes equacions varien en funció de si es tracta d'un panell amb les dues cares planes o lleugerament perfilades, o d'un panell amb una cara perfilada i l'altra plana o lleugerament perfilada.

A més, en el cas dels panells amb les dues cares planes o lleugerament perfilades, també diferencia les equacions segons si es tracta d'un panell d'un sol tram o de dos.

Així, parlem de tres situacions diferents: panells amb cares planes d'un sol tram, panells amb cares planes de dos trams, i panells amb una cara perfilada i l'altra plana d'un sol tram.

Per a cada situació, la norma proposa unes equacions de càlcul on es relaciona la longitud, la càrrega i la geometria amb cadascun dels valors límit del panell calculats al bloc 4. Per tant, per a cadascuna de les situacions descrites s'obtenen tres valors de longitud.

En els apartats 2.5.1, 2.5.2 i 2.5.3 es desenvolupen les equacions de càlcul.

2.5.1 Panells amb les dues cares planes o lleugerament perfilades:

2.5.1.1 Panells d'un sol tram

Pel càlcul de la longitud màxima segons l'esforç tallant del nucli (L_1), s'utilitza la formula que proposa la norma, descrita a continuació:

$$V_{su} = \frac{q \cdot L}{2} \rightarrow L = \frac{V_{su} \cdot 2}{q} \quad \text{Eq. 31}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell. La càrrega q utilitzada en els càlculs descrits en el present apartat de resultats no correspon a la de les taules d'utilització Q . Aquestes últimes vénen donades en daN/m² i pels càlculs es necessiten N/mm. Per aquesta raó, el valor de la càrrega q es determina seguint la següent expressió:

$$q = Q \cdot B \quad \text{Eq. 32}$$

L : longitud entre recolzaments.

V_{su} : Força tallant última.

Pel que fa al càlcul de la longitud màxima segons el moment flector (L_2), l'equació utilitzada és la següent:

$$M_u = \frac{q \cdot L^2}{8} \rightarrow L = \sqrt{\frac{M_u \cdot 8}{q}} \quad \text{Eq. 33}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

M_u : Moment flector últim.

Per últim, pel càlcul de la longitud màxima segons la deformació del panell (L_3) la norma proposa l'expressió representada tot seguit:

$$\delta_u = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_s} (1 + 3,2k) \quad \text{Eq. 34}$$

Tot i això, al realitzar el càlcul per a diferents valors s'ha observat que els resultats són d'un ordre superior al que s'espera. Per aquesta raó, analitzant la fórmula s'ha deduït que hi falta la variable B al denominador, donat que les unitats no s'ajusten. Així, l'expressió finalment utilitzada es descriu tot seguit:

$$\delta_u = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_s \cdot B} (1 + 3,2k) \quad \text{Eq. 35}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

δ_u : deformació última del panell.

B : amplada del panell.

B_s : constant de rigidesa a flexió del panell (típicament el factor $E \cdot I$ per a bigues homogènies).

K : factor corrector de la deformació per influència del tallant.

Pel que fa a la constant de rigidesa B_s , aquesta relaciona el gir respecte al moment del panell, i es calcula amb l'expressió descrita a continuació:

$$B_s = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2} \cdot e^2}{(E_{F1} \cdot A_{F1} + E_{F2} \cdot A_{F2}) \cdot B} \quad \text{Eq. 36}$$

On,

E_{F1} : mòdul elàstic de la cara superior.

E_{F2} : mòdul elàstic de la cara inferior.

A_{F1} : àrea transversal de la cara superior de panell.

A_{F2} : àrea transversal de la cara inferior del panell.

e : espessor del panell.

B : amplada del panell.

Pel que fa al factor corrector de la deformació per influència del tallant k , la seva expressió de càlcul és la següent:

$$k = \frac{3 \cdot B_s}{L^2 \cdot G_C \cdot A_C} \quad \text{Eq. 37}$$

On,

G_C : mòdul a tallant del nucli.

B_s : rigidesa a flexió del panel.

L : longitud entre recolzaments.

A_C : àrea transversal del nucli, que correspon a la següent expressió:

$$A_C = B \cdot e \quad \text{Eq. 38}$$

En aquest cas, donat que δ_v també depèn de la longitud, no es pot aïllar explícitament aquesta variable. Per a determinar la longitud màxima, doncs, s'utilitzarà el procediment descrit a l'apartat 3.5.2.1 del capítol 3 d'implementació.

Per últim, de les tres longituds resultants, n'hi haurà una que serà més restrictiva que la resta. Per tant, prendrem aquesta com a valor resultant de longitud:

$$L = \min (L_1, L_2, L_3) \quad \text{Eq. 39}$$

2.5.1.2 Panells continus de dos trams iguals

Pel càlcul de la longitud màxima segons l'esforç tallant del nucli (L_1), s'utilitza la formula que proposa la norma, descrita a continuació:

$$V_{su} = \frac{q \cdot L}{2} \left(1 - \frac{1}{4(1+k)} \right) \quad \text{Eq. 40}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

V_{su} : Força tallant última.

k : factor corrector de la deformació per la influència del tallant.

Pel que fa al càlcul de la longitud màxima segons el moment flector (L_2), l'expressió a utilitzar és la següent:

$$M_u = \frac{q \cdot L^2}{8} \left(1 - \frac{1}{4(1+k)} \right) \quad \text{Eq. 41}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

M_u : Moment flector últim.

k : factor corrector de la deformació per la influència del tallant.

Per últim, per a determinar la longitud màxima segons la deformació (L_3), la norma proposa la fórmula descrita a continuació:

$$\delta_u = \frac{q \cdot L^4}{48 \cdot B_s} \left(\frac{0,26 + 2,6k + 2k^2}{1+k} \right) \quad \text{Eq. 42}$$

De la mateixa manera que en el cas del càlcul per un sol tram, analitzant la fórmula s'ha deduït que hi falta la variable B al denominador, donat que les unitats no s'ajusten. Així, l'expressió finalment utilitzada es descriu tot seguit:

$$\delta_u = \frac{q \cdot L^4}{48 \cdot B_s \cdot B} \left(\frac{0,26 + 2,6k + 2k^2}{1+k} \right) \quad \text{Eq. 43}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

δ_u : deformació última del panell.

B : amplada del panell.

B_s : rigidesa a flexió del panell.

k : factor corrector de la deformació per la influència del tallant.

En panells de dos trams iguals és massa complicat aïllar explícitament la longitud en qualsevol dels tres casos. Així, s'utilitza un procediment de càlcul alternatiu explicat a l'apartat 3.5.2.2 del capítol 3 d'implementació.

Per últim, de les tres longituds resultants, n'hi haurà una que serà més restrictiva que la resta. Per tant, prendrem aquest com el valor final de longitud:

$$L = \min (L_1, L_2, L_3) \quad \text{Eq. 44}$$

2.5.2 Panells amb una cara perfilada i l'altra plana o lleugerament perfilada

2.5.2.1 Panells d'un sol tram

De la mateixa manera que ens els casos anteriors, la longitud màxima segons l'esforç tallant del nucli (L_1) es calcula seguint la següent equació:

$$V_{su} = \frac{q \cdot L}{2} \rightarrow L = \frac{V_{su} \cdot 2}{q} \quad \text{Eq. 45}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

V_{su} : Força tallant última.

Pel que fa la determinació de la longitud segons el moment flector (L_2), s'utilitza l'expressió descrita a continuació:

$$M_u = \frac{q \cdot L^2}{8} \beta \rightarrow L = \sqrt{\frac{M_u \cdot 8}{q \cdot \beta}} \quad \text{Eq. 46}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

M_u : Moment flector últim.

β : constant de rigidesa de la cara superior respecte al panell.

La constant de rigidesa de la cara superior respecte al panell, es calcula a partir de l'expressió descrita tot seguit:

$$\beta = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1+3,2k}} \quad \text{Eq. 47}$$

On,

B_S : rigidesa a flexió del panell.

k : factor corrector de la deformació per la influència del tallant.

B_{F1} : rigidesa a flexió de la cara superior.

La norma no suggereix cap equació per al càlcul de la variable B_{F1} . Per aquesta raó, analitzant el significat de la variable i les expressions on aquesta s'utilitza, s'ha deduït l'expressió següent:

$$B_{F1} = \frac{E_{F1} \cdot I_1}{B_1} \quad \text{Eq. 48}$$

On,

E_{F1} : mòdul elàstic de la cara superior.

I_1 : Inèrcia de la cara superior.

B_1 : amplada de la cara superior del panell.

Per últim, pel càlcul de la longitud màxima segons la deformació (L_3) la norma proposa l'equació que es mostra a continuació:

$$\delta_u = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_S} (1 + 3,2k) \cdot (1 - \beta) \quad \text{Eq. 49}$$

Tot i això, com en el cas de les expressions de càlcul de les deformacions ja descrites, s'ha deduït que també hi falta la variable B multiplicant al denominador per tal d'ajustar les unitats. La nova expressió utilitzada és la següent:

$$\delta_u = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_S \cdot B} (1 + 3,2k) \cdot (1 - \beta) \quad \text{Eq. 50}$$

On,

q : càrrega aplicada sobre el panell.

L : longitud entre recolzaments.

δ_u : deformació última del panell.

B : amplada del panell.

B_s : rigidesa a flexió del panell.

k : factor corrector de la deformació per la influència del tallant.

θ : rigidesa de la cara superior respecte al panell.

En aquest cas, és massa complicat aïllar explícitament la longitud segons el moment flector i la deformació. De la mateixa manera que en els altres casos, el procediment a seguir està descrit a l'apartat 3.5.2.3 del capítol 3 d'implementació.

Per últim, de les tres longituds resultants, n'hi haurà una que serà més restrictiva que la resta. Per tant, prendrem el mínim com el valor final de longitud:

$$L = \min (L_1, L_2, L_3) \quad \text{Eq. 51}$$

3 IMPLEMENTACIÓ

Un cop descrita la metodologia que permet l'anàlisi estructural dels panells de Huurre Iberica S.A., segons la norma EN-UNE 14509, és important determinar la forma en què s'han dut a terme aquests mètodes.

Així, en el present capítol es detallen les eines, la seva disposició i organització, les unitats de mesura i les hipòtesis utilitzades per a implementar de forma correcta la metodologia explicada en el capítol 2.

3.1 Generalitats

Existeixen moltes formes d'implementar una metodologia de càlcul, però en aquest cas s'ha dut a terme mitjançant el programa Microsoft Excel.

A l'hora de dissenyar aquest programa, s'han tingut en compte una sèrie d'aspectes:

- Hi ha una sèrie de característiques dels panells que obliguen a utilitzar mètodes de càlcul diferents per a cadascun d'ells, i per tant també una implementació diferent. Per aquesta raó s'ha optat per a crear una fulla d'Excel individual per a cada tipus de panell.
- Per tal d'aconseguir un programa còmode, fàcil d'entendre i d'analitzar visualment, els resultats s'han destacat amb diferents colors segons la seva procedència. Existeixen tres opcions:
 1. Vermell: longitud màxima limitada per la deformació.
 2. Blau: longitud màxima limitada per les cares.
 3. Verd: longitud màxima limitada per el nucli.
- S'ha intentat mantenir una certa equivalència entre la metodologia i la implementació, per així facilitar-ne la comprensió: cada fulla d'Excel està composta de diferents pestanyes corresponents a la geometria, als valors últims i límit del panell, i als càlculs de les longituds màximes entre recolzaments.

3.2 Geometria

La pestanya corresponent a la geometria està formada per tres taules: les taules de càlcul de les característiques geomètriques de cada cara (taula 3.1), la taula de càlcul de les inèrcies (taula 3.2), i la taula de resultats (taula 3.3).

3.2.1 Taula de càlcul de les característiques geomètriques de la cara superior i inferior Donat que les dues cares del perfil poden ser geomètricament diferents, la pestanya de geometria inclou dues taules de càlcul de les característiques geomètriques, una per a la cara superior i una per a la cara inferior.

Cadascuna d'aquestes taules inclou les característiques que es descriuen a continuació:

- Numero identificador del tram, seguint un ordre segons s'explica a l'apartat 3.2.1.1.
- Esquema senzill del tram.
- Número de repeticions de cada tram dins d'un mateix perfil, segons s'explica a l'apartat 3.2.1.1.
- Longituds reals l_i , horitzontals l_{hi} i verticals l_{vi} de cada tram, introduïdes per l'usuari.
- Distància de la línia neutra al centre de gravetat de cada tram d_i , calculada per l'usuari.
- Angle d'inclinació de cada tram ϕ_i , calculades per l'usuari.
- Càlculs intermedis per a determinar les àrees transversals de cada tram $l_i \cdot d_i$.
- Àrea transversal de cada tram A_i , seguint les equacions 6 i 7, segons correspongui, descrites a l'apartat 2 de metodologia.
- Càlculs intermedis per a determinar la inèrcia de cada tram.
- Càlcul de la inèrcia del tram, mitjançant les equacions 8 i 14, segons correspongui a la cara superior o inferior respectivament.

Tota aquesta informació s'estructura tal i com es representa a la taula 3.1.

Taula 3.1 Taula de característiques geomètriques.

Tram	esquema	nº trams	l_{1i}	l_{1hi}	l_{1vi}	d_{1i}	ϕ_{1i}	$l_{1i} \cdot d_{1i}$	A_{1i}	l_{1xi}	Δ_{1di}	Δ_{1di}^2	$A_{1i} \cdot \Delta_{1di}^2$	$l_{1xi} + A_{1i} \cdot \Delta_{1di}^2$
1														
2														
...														
Σ														

*Les columnes ombrujades són dades d'entrada de l'usuari.

Abans d'iniciar cap càlcul, aquesta taula requereix, en primer lloc, dividir el perfil de les cares dels panells en diferents trams. Aquesta divisió es realitza segons la longitud, la inclinació i la posició de cada tram respecte a una línia de referència. Així, les parts del perfil de cada cara que tinguin aquestes tres característiques iguals, formen part del mateix tram tot i no estar col·locades l'una al darrere l'altra. Per últim, cal enumerar cadascun dels trams de forma ordenada.

Segons fixa la norma EN-UNE 14509, si la diferencia d'altures en el mateix perfil és inferior o igual a 5mm, aquesta no es té en compte i per tant es considera tot una mateixa altura, tal i com es mostra a la figura 3.1.

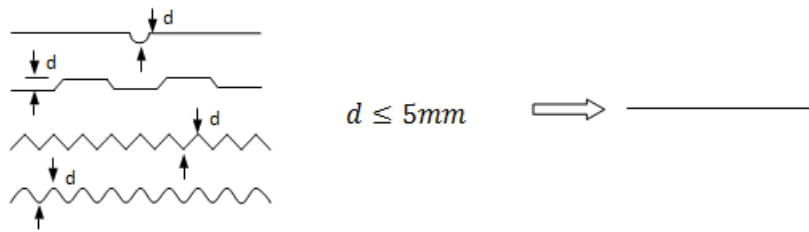


Figura 3.1 Esquema de la simplificació en la geometria dels panells.

Els tres panells, HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR ST i HI-PIR/PUR CT, presenten una geometria a les cares molt diversa. Així, en els apartats 3.2.1.1, 3.2.1.2 i 3.2.1.3 es desenvolupa la divisió en trams de cada panell de forma més detallada.

3.2.1.1 Divisió de trams del panell HI-PIR/PUR F

A partir dels plànols del panell, s'ha obtingut el perfil de la cara superior i inferior d'aquest.

A la figura 3.2. es representa un dibuix del perfil geomètric del panell que permetrà identificar-ne els diferents trams.

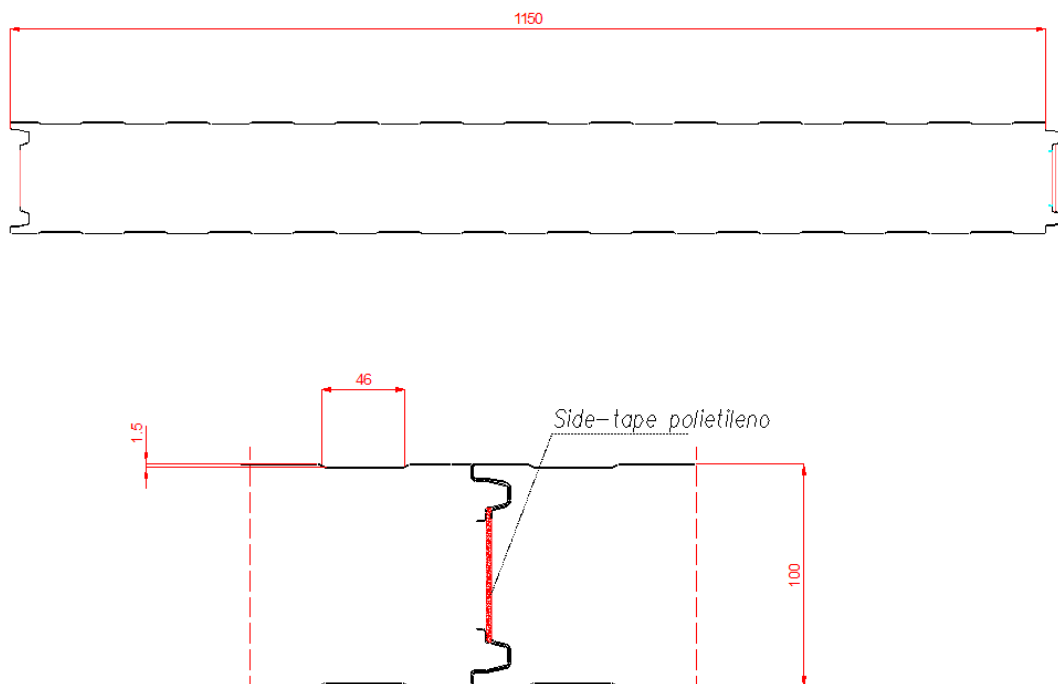


Figura 3.2 Dibuix i detall del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR F.

En el detall del dibuix, s'observa que l'altura de les ranures és 1.5mm. Recordem que només s'elideix aquesta diferència d'altures quan és inferior a 0.5mm. Per tant, en aquest cas s'ha de tenir en compte i no es pot simplificar la geometria.

Amb el perfil definitiu, ja es pot iniciar la divisió en trams.

Així, pel que fa a la cara superior, la divisió en trams d'aquesta queda tal i com es mostra a la figura 3.3.

D'aquesta figura podem observar que la cara superior està formada per 6 trams diferents. Únicament s'ha identificat un tram de cada tipus, sense tenir en compte les repeticions, però un cop classificats és fàcil distingir la resta dins el perfil:

- Tram 1: una repetició.
- Tram 2: 12 repeticions.
- Tram 3: 12 repeticions.
- Tram 4: 12 repeticions.
- Tram 5: 11 repeticions.
- Tram 6: una repetició.

Pel que fa a la cara inferior, la divisió de trams és idèntica a la de la cara superior però simètrica respecte a l'eix transversal. La figura 3.4 representa en forma de dibuix aquesta divisió.

A partir d'aquesta figura obtenim que la cara inferior està formada per 6 trams diferents, on:

- Tram 1: una repetició.
- Tram 2: 12 repeticions.
- Tram 3: 12 repeticions.
- Tram 4: 12 repeticions.
- Tram 5: 11 repeticions.
- Tram 6: una repetició.



Figura 3.3 Divisió de trams de la cara superior del panell HI-PIR/PUR F.

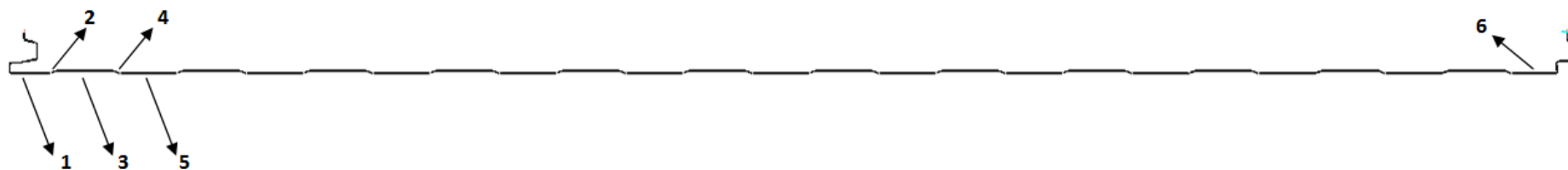


Figura 3.4 Divisió de trams de la cara inferior del panell HI-PIR/PUR F.

3.2.1.2 Divisió de trams del panell HI-PIR/PUR ST

Dels panells HI-PIR/PUR ST, Huurre Iberica S.A. demanava analitzar la varietat Standard i la Llisa.

La única diferència entre elles, tal i com s'explica a l'annex C, està en la geometria. Per aquesta raó, serà necessari realitzar la divisió en trams pels dos tipus de perfil.

De forma similar a l'anterior, els plànols proporcionen la informació mostrada a les figures 3.5. pel que fa a la varietat Standard, i a la figura 3.6. per la Llisa.

En el cas del panell HI-PIR/PUR ST Standard, les ranures del perfil, tant de la cara superior com la inferior, tenen una altura inferior a 0.5mm. Per tant, se simplifiquen les seves geometries de manera que cada cara queda perfectament llisa i a una única altura.

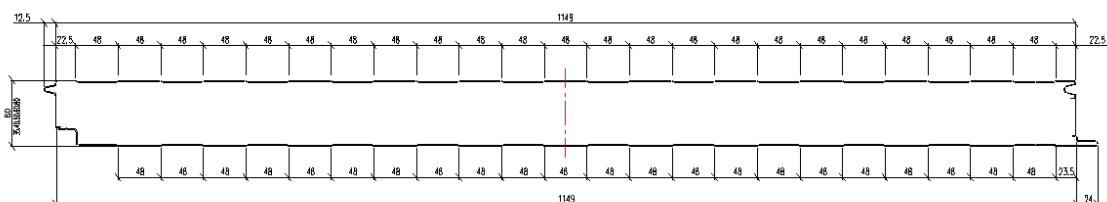


Figura 3.5 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR ST Standard.

El perfil de la varietat llisa, està format d'una banda per una cara totalment llisa, i l'altra lleugerament perfilada. De la mateixa manera que en la varietat Standard, la cara inferior del panell HI-PIR/PUR ST Llis, que correspon a la cara perfilada, també es pot simplificar quedant les dues cares perfectament llises.



Figura 3.6 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR ST Llis.

Un cop analitzat i simplificat el perfil geomètric de les dues varietats, s'han obtingut uns perfils iguals, i completament llisos a les dues cares.

Per tant, la geometria aplicada als càlculs serà idèntica pel panell HI-PIR/PUR ST Standard que pel panell HI-PIR/PUR ST Llis.

Així, la divisió en trams de les dues cares del panell es representa una única vegada, vàlida per a les dues varietats.

Pel que fa a la cara superior, la figura 3.7 representa com queda la seva divisió en trams. S'observa que la divisió està composta per un únic tram.

La cara inferior, per la seva banda, es divideix segons es representa a la figura 3.8.

Aquesta cara, tot i ser gairebé igual a l'anterior, inclou una part del perfil destinada a la junta entre panells. Per aquesta raó la divisió de la cara inferior està formada per tres trams d'una sola repetició.



Figura 3.7 Divisió de trams de la cara superior del perfil HI-PIR/PUR ST.



Figura 3.8 Divisió de trams de la cara inferior del perfil HI-PIR/PUR ST.

3.2.1.3 Divisió de trams del panell HI-PIR/PUR CT

De la mateixa manera que en la resta de panells, la informació obtinguda dels plànols es veu representada a les figures 3.9 i 3.10.

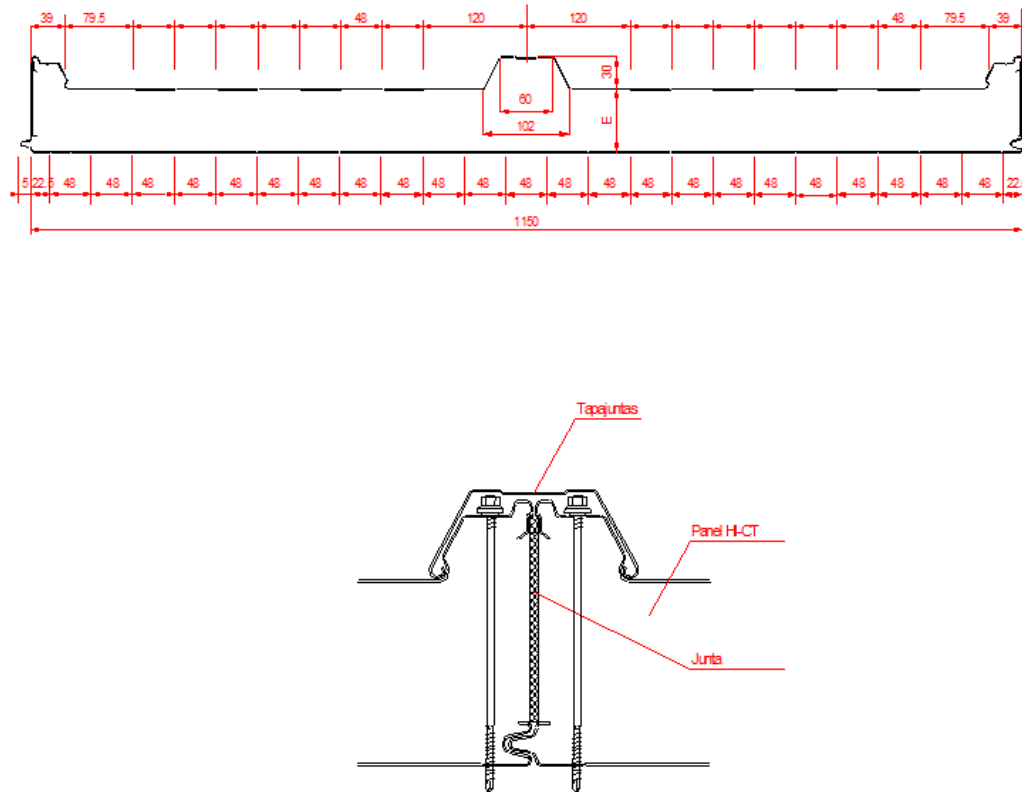


Figura 3.9 Dibuix del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR CT.

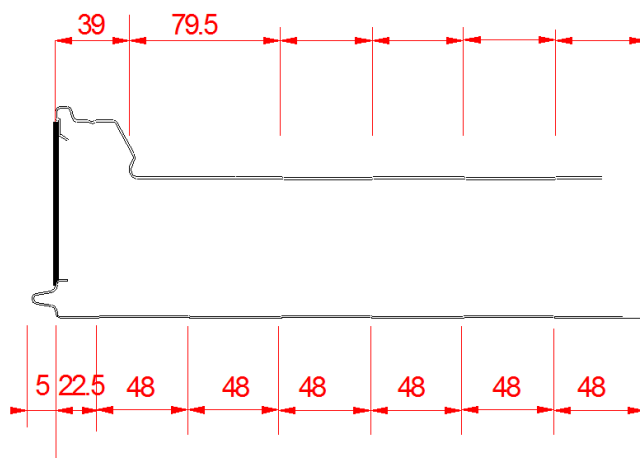


Figura 3.10 Detall del perfil geomètric del panell HI-PIR/PUR CT.

Tot i que en el dibuix del panell no s'identifica amb claredat, les dues cares presenten unes ranures molt fines al llarg de la seva superfície. Aquestes ranures, però, tenen una altura inferior a 0.5mm, i per tant, aquesta zona pot considerar-se llisa.

D'aquesta manera, a la cara superior les úniques altures que es tenen en compte són les de la ranura central, representades amb més detall a la figura 3.10. La cara inferior, en canvi, se simplifica quedant totalment llisa.

Un cop simplificats els perfils geomètrics de cada cara, es pot dur a terme la divisió en trams.

Pel que fa a la cara superior, la divisió en trams del seu perfil queda la forma que es representa a la figura 3.11.

Així, tal i com s'observa a la figura, la cara superior es divideix en 13 trams diferents. Tot seguit es mostren les repeticions de cada tram dins el perfil:

- Tram 1: dos repeticions
- Tram 2: dos repeticions
- Tram 3: dos repeticions
- Tram 4: una repetició
- Tram 5: dos repeticions
- Tram 6: una repetició
- Tram 7: dos repeticions
- Tram 8: una repetició
- Tram 9: dos repeticions
- Tram 10: una repetició
- Tram 11: una repetició
- Tram 12: una repetició
- Tram 13: una repetició

La cara inferior, gràcies a la simplificació del perfil, queda dividida en un sol tram, tal i com es mostra a la figura 3.12.

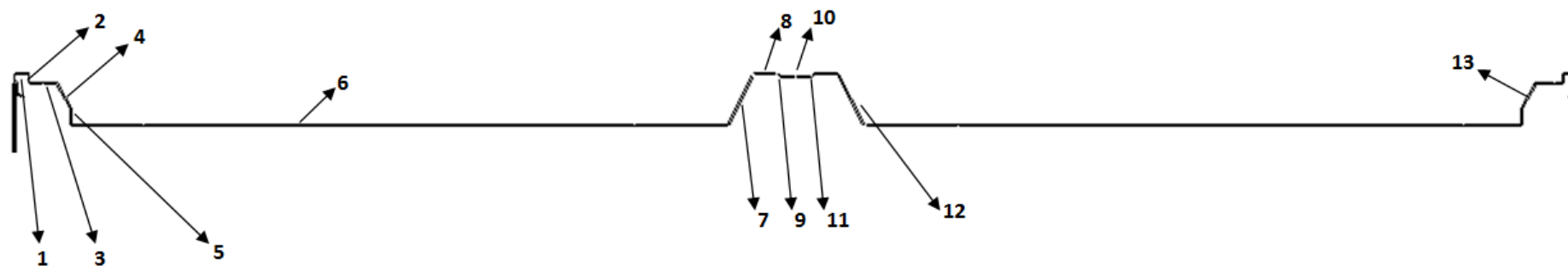


Figura 3.11 Divisió de trams de la cara superior del perfil HI-PIR/PUR CT

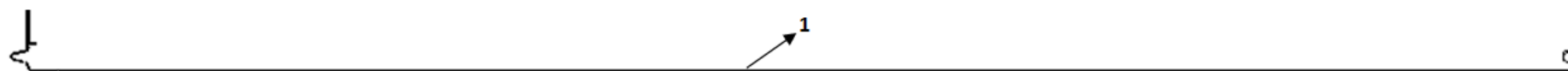


Figura 3.12 Divisió de trams de la cara inferior del perfil HI-PIR/PUR CT.

3.2.2 Taula de càlcul de les inèrcies

En aquesta taula es duu a terme el càlcul descrit a les equacions 10 i 16 per a cada tram, segons correspongui a la cara superior o inferior del panell.

3.2.3 Taula de resultats

La taula de resultats proporciona les característiques geomètriques necessàries per al càlcul de les posteriors pestanyes, descrites a continuació i representades a la figura 3.13:

- Gruix de la cara superior t_1 i de la cara inferior t_2 .
- Altura màxima de la cara superior d_1 i de la cara inferior d_2 .
- Distància de la línia neutra de la cara superior a l'altura màxima d'aquesta d_{11} , calculada a partir de l'equació 2 del capítol 2 de metodologia.
- Distància de la línia neutra de la cara inferior a l'altura màxima d'aquesta d_{21} , calculada a partir de l'equació 4 del capítol 2 de metodologia.
- Distància de la línia de referència de la cara superior a la línia neutra d'aquesta d_{12} , calculada a partir de l'equació 1 del capítol 2 de metodologia. Distància de la línia de referència de la cara inferior a la línia neutra d'aquesta d_{22} , calculada a partir de l'equació 3 del capítol 2 de metodologia.
- Àrea transversal de la cara superior A_{F1} i de la inferior A_{F2} , calculades a la taula 3.1 de característiques geomètriques.
- Inèrcia de la cara superior I_{F1} i de la cara inferior I_{F2} , calculades a la taula 3.1 de característiques geomètriques.
- Espessor comercial del nucli d_c introduïda per l'usuari.
- Espessor efectiu a flexió e , calculada a partir de l'equació 5 del capítol 2 de metodologia.
- Amplada de la cara superior B_1 i de la cara inferior B_2 , calculades a la taula 3.1 de característiques geomètriques.
- Espessor màxima del panell D .

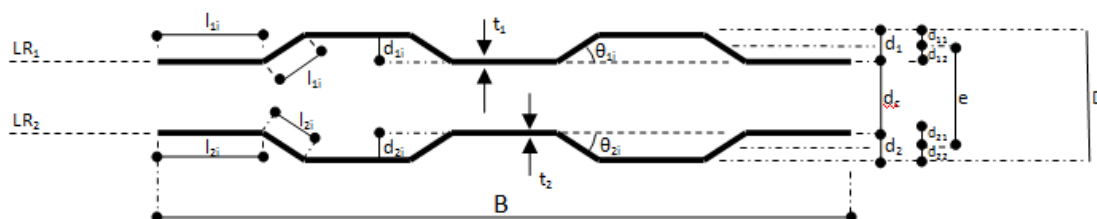


Figura 3.13 Esquema general de les característiques geomètriques d'un panell sàndwich.

Totes aquestes característiques han estat determinades a les taules de càlcul de les dues cares del panell, excepte els valors del gruix de les dues cares ombrejat en gris. Aquests, s'obtenen directament dels plànols dels panells i els ha d'introduir l'usuari. Totes elles s'estructuren de la forma que es mostra a la taula 3.2.

Taula 3.2 Taula de resultats de les característiques geomètriques.

	Capa	Geometria
PERFIL XX	cara superior	t_1 mm
		d_1 mm
		d_{11} mm
		d_{12} mm
		A_{F1} mm ²
		I_{F1} mm ⁴
	Nucli	d_c mm
	cara inferior	t_2 mm
		d_2 mm
		d_{21} mm
		d_{22} mm
		A_{F2} mm ²
		I_{F2} mm ⁴
	D	mm
	e	mm
	B_1	mm
	B_2	mm

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.3 Material

El bloc referent al material té com a objectiu, d'una banda, recopilar la informació necessària dels panells per aplicar-la als càlculs, i de l'altra, donar valor als coeficients dels materials γ_m . Així, la implementació d'aquest bloc està inclosa en el procediment de càlcul dels valors límit del material, tal i com es descriu a l'apartat 3.4 del present capítol.

3.4 Valors límit del material i valors últims del panell

La determinació dels valors límit del material i els valors últims del panell, tot i formar part de dos blocs diferents en la metodologia, es duu a terme en una mateixa pestanya de la fulla d'Excel. Tot i això, el seu càlcul es desenvolupa en taules diferents.

3.4.1 Valors límit del material

Per la determinació dels valors límit del material, s'han dissenyat tres taules que inclouen les resistències característiques del nucli, de la cara superior i de la cara inferior.

En el disseny de les taules s'ha hagut de tenir en compte que es necessiten els valors límit del material per a diferents espessors. Com també que el valor final d'aquestes resistències ha d'estar degudament minorat per el coeficient del material segons correspongui.

D'aquesta manera, les files de les taules corresponen a les resistències característiques nominals, calculades a partir de les equacions 23, 24, 25 del capítol 2 de metodologia segons correspongui, i les minorades, l'una sota l'altra. I per últim, una fila destinada a calcular el valor mínim entre totes les resistències minorades de cada columna, que correspondrà a la resistència límit del material per un espessor determinat.

Les columnes, corresponen als diferents espessors nominals del panell, i per últim, una columna pels diferents coeficients del material que s'introdueixen a la fila de la resistència que correspongui.

Els valors de les resistències característiques de cada part dels panells s'han extret de les taules D.1, D.2 i D.3 de l'annex D, que fan referència als resultats dels assajos certificats dels panells de Huurre Iberica S.A. I pel que fa al coeficient del material per a cada tipus de resistència, la mateixa norma suggereix una sèrie de valors descrits a la taula 2.2 del capítol 2 de metodologia.

Aquesta estructura es representa a la taula 3.3 pel que fa al nucli, a la taula 3.4 pel que fa a la xapa de la cara superior, i a la taula 3.5 pel que fa a la inferior.

Taula 3.3 Taula dels valors de resistència últims del nucli.

Nucli							
Assajos	Resistència Rd (MPa)						
espessors	60	80	100	125	150	175	200
Esforç tallant al nucli							
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)							
Esforç compressió nucli							
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)							
Tracció perp. a les cares							
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)							
Esforç tallant a llarg termini							
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)							
Rmin (F_{CV})							
Modul esforç tallant							

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

Taula 3.4 Taula dels valors de resistència últims de la cara superior.

Cara superior (compr.)								Coeficient del material γ_m
Assajos	Resistència Rd (MPa)							
	60	80	100	125	150	175	200	
Compressió al 10%								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Limit elàstic								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Arrugament								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Rmin (σ_{u1})								

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

Taula 3.5 Taula dels valors de resistència últims de la cara inferior.

Cara inferior (tracció)								Coeficient del material γ_m
Assajos	Resistència Rd (MPa)							
	60	80	100	125	150	175	200	
Tracció perpendicular a les cares								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Límit elàstic								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Arrugament								
(Resistència Rk (MPa) $Rk=Rd/\gamma_m$)								
Rmin (σ_{u2})								

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.4.2 Valors últims del panell

Els valors últims del panell s'obtenen mitjançant una taula de càlcul com la que mostra la taula 3.6.

Aquesta taula, calcula el valors últims del panell M_{min} i V_{su} a partir dels valors de resistència límit del material i una sèrie de característiques de la geometria. La seva estructura conté els dades descrites a continuació, amb l'ordre que correspon:

- Resistència a tallant del nucli mínima(F_{cv}). Aquesta prendrà el valor de resistència característica mínima d'una columna determinada de la taula corresponent al nucli, segons l'espessor comercial que l'usuari indiqui a la pestanya resultats.

- Resistència a tracció mínima(σ_{u2}). Aquesta prendrà el valor de resistència característica mínima d'una columna determinada de la taula corresponent a la cara inferior, segons l'espessor comercial que l'usuari indiqui a la pestanya resultats.
- Resistència a compressió mínima(σ_{u1}). Aquesta prendrà el valor de resistència característica mínima d'una columna determinada de la taula corresponent a la cara superior, segons l'espessor comercial que l'usuari indiqui a la pestanya resultats.
- Mòdul de l'esforç tallant del nucli (G_c). Aquest prendrà un valor determinat segons l'espessor comercial que l'usuari indiqui a la pestanya resultats.
- Espessor comercial d_c . Prendrà el valor de l'espessor comercial que l'usuari indiqui a la pestanya resultats.
- Espessor efectiu a flexió e . El seu valor es determina automàticament mitjançant l'equació 5 del capítol 3 de metodologia.
- Àrea transversal del perfil superior A_{F1} . Aquesta prendrà automàticament el valor calculat a la pestanya de geometria.
- Àrea transversal del perfil inferior A_{F2} . Aquesta prendrà automàticament el valor calculat a la pestanya de geometria.
- Amplada del perfil superior B_1 . Aquesta prendrà automàticament el valor calculat a la pestanya de geometria.
- Amplada del perfil inferior B_2 . Aquesta prendrà automàticament el valor calculat a la pestanya de geometria.
- Mòdul elàstic superior E_{F1} . Aquest valor és introduït per l'usuari, i depèn directament del material de la cara superior.
- Mòdul elàstic inferior E_{F2} . Aquest valor és introduït per l'usuari, i depèn directament del material de la cara inferior.
- Coeficient de rigidesa B_s . Aquest valor es calcula segons l'equació 36 del capítol 2 de metodologia.
- Moment flector del perfil superior M_{u1} . Aquest valor es calcula segons l'equació 26 del capítol de metodologia.
- Moment flector del perfil superior M_{u2} . Aquest valor es calcula segons l'equació 27 del capítol 2 de metodologia.
- Moment flector mínim entre les dues cares M_{min} . Aquest prendrà el valor mínim entre M_{u1} i M_{u2} , segons indica l'equació 28 del capítol 2 de metodologia.
- Esforç tallant V_{su} . Aquest valor es calcula segons l'equació 29 del capítol 2 de metodologia.

Taula 3.6 Taula de càlcul dels valors límit del panell.

	Dades d'entrada	Unitats	Valor
R_k	Resistència a tallant del nucli (F_{cv})	(MPa)	
	Resistència a tracció (σ_{u2})	(MPa)	
	Resistència a compressió (σ_{u1})	(MPa)	
geometria	Mòdul d'esforç tallant del nucli (G_c)	(MPa)	
	Espessor comercial (d_c)	(mm)	
	Espessor calculada (e)	(mm)	
	Area transversal perfil superior (A_{F1})	(mm ²)	
	Area transversal perfil inferior (A_{F2})	(mm ²)	
	Amplada perfil superior (B_1)	(mm)	
	Amplada perfil inferior (B_2)	(mm)	
material	Mòdul elàstic perfil superior (E_{F1})	(MPa)	
	Mòdul elàstic perfil inferior (E_{F2})	(MPa)	
	B_s	-	
(Xapa)	Moment flector perfil superior (M_{u1})	(Nmm)	
	Moment flector perfil inferior (M_{u2})	(Nmm)	
	Moment flector mínim (M_{min})	(Nmm)	
(Nucli)	Esforç tallant (V_{su})	(N)	

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5 Resultats

Aquesta és la pestanya principal i la més simple, dissenyada perquè funcioni com a entrada de dades i visualització dels resultats, ajustant el disseny als requeriments de l'empresa Huurre Iberica S.A per a completar el seu catàleg tècnic comercial.

La seva estructura consta de dues taules: la d'entrada de dades i la dels resultats, relacionades entre elles.

3.5.1 Taula de dades d'entrada

Pel que fa a la taula de dades d'entrada, representada a la taula 3.7, aquesta inclou:

- L'espessor comercial d_c .

Aquest pot prendre qualsevol valor i és introduït per l'usuari.

Per a cada iteració de càlcul se li assigna un únic valor a l'espessor comercial d_c . En el cas d'aquest projecte, caldrà obtenir els resultats per a totes les espessors que s'indiquen a les taules característiques dels catàlegs generals de Huurre Iberica S.A.:

Panell HI-PIR/PUR FJ: 60, 80, 100, 125, 150, 175, 200.

Panell HI-PIR/PUR ST: 35, 40, 50, 60, 80, 100.

Panell HI-PIR/PUR FJ: 30, 40, 50, 60, 80, 120.

- Les càrregues uniformement distribuïdes Q , en daN/m^2 . Aquestes poden prendre qualsevol valor, tot i que en aquest projecte s'utilitzen els valors indicats a les taules característiques de cada panell del catàleg general de Huurre Iberica S.A.:

Panell HI-PIR/PUR FJ: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200.

Panell HI-PIR/PUR ST: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200.

Panell HI-PIR/PUR CT: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200.

- Les càrregues uniformement distribuïdes q , en N/mm . El valor de les càrregues es calcula segons l'equació 32 del capítol de metodologia.

Taula 3.7 Taula de dades d'entrada.

Espessor comercial d_c (mm)	
Càrregues Q (daN/m^2)	
Càrregues q (N/mm)	

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2 Taula de resultats

Pel que fa a la taula de resultats, aquesta es divideix en dues seccions: el càlcul de les longituds màximes de panells d'un tram i el càlcul de les longituds màximes de panells en dos trams.

En cada secció, es calcula el valor de tres longituds màximes diferents corresponents als resultats segons les cares (M_u), segons el nucli (V_{su}) i segons la fletxa (δ_u). A més, aquest càlcul es repeteix per a totes les càrregues assignades a la taula de dades d'entrada. Per últim, s'indica la longitud màxima resultant per a cada càrrega, que pren el valor mínim entre les longituds segons el nucli, la cara superior o la cara inferior, seguint les equacions 39, 44 i 51 descrites al capítol 2 de metodologia.

A la taula 3.8 es representa el disseny que segueix la taula de resultats.

Taula 3.8 Taula de resultats.

Longitud entre recolzaments (mm)		L_{q1}	L_{q2}	L_{q3}	L_{q4}	L_{q5}	L_{q6}	L_{q7}
1 TRAM	Segons xapa							
	Segons nucli							
	Segons fletxa							
	L Resultant							
2 TRAMS	Segons xapa							
	Segons nucli							
	Segons fletxa							
	L Resultant							

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

Tal i com s'explica al final del capítol 2 de metodologia, el càlcul de la longitud màxima entre recolzaments variarà segons es tracti de panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades, o de panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada. I dins d'aquests, també es diferenciarà segons s'estigui calculant la longitud per un sol tram o per dos.

Per tant, la implementació d'aquests càlculs també serà diferent per a cada cas. Els apartats 3.5.2.1, 3.5.2.2 i 3.5.2.3 analitzen cadascun dels casos per separat.

3.5.2.1 Panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades. Càlcul d'un tram.

Recordem que per obtenir els resultats de longitud, el procediment utilitzat és aïllar la variable longitud L de les fórmules que ens proporciona la normativa, que genèricament tenen la següent forma:

$$V_u, M_u = f(q, L)$$

$$\partial u = f(q, B_s, L, k)$$

On,

Els valors límit del panells V_u , M_u i δ_u s'obtenen a la pestanya corresponent de valors últims i valors límit.

La càrrega q és coneguda en tot moment i pot prendre qualsevol valor, que és introduït per l'usuari.

La constant de rigidesa B_s depèn de dades geomètriques conegudes.

Mentre que el factor corrector de la deformació per influència del tallant k depèn directament de la longitud:

$$k = f(Bs, Ac, Gc, L)$$

Així, pel que fa al tallant i al moment últim, la variable longitud L és fàcilment aïllable. Per aquesta raó, en aquests dos casos la implementació d'aquest càlcul es duu a terme directament a la pestanya de resultats seguint les equacions 31 i 33, respectivament, descrites al capítol 2 de metodologia.

En canvi, la deformació última depèn de L i de k , i aquesta a la vegada torna a dependre de L . En aquest cas, aïllar la variable L es complica massa, fet que obliga a utilitzar una forma d'implementació diferent.

Per aquesta raó, el càlcul de la longitud segons la deformació última no es realitza directament a la pestanya de resultats, sinó que s'utilitza una nova pestanya destinada únicament a aquest càlcul. A més, donada la dificultat d'aïllar la variable L , en aquest cas s'utilitza un mètode de càlcul iteratiu.

Per al càlcul iteratiu són necessàries dues taules: la de càlcul i la de resultats.

3.5.2.1.1 Taula de càlcul segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.

La taula de càlcul, representada a la taula 3.9, està formada per un seguit de columnes:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : Càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L .
- Càlcul del factor $(1+3,2k)$ per a totes les longituds de la columna L .
- Deformació última δ_u : càlcul de la deformació última segons la fletxa seguint l'equació 30 descrita al capítol 3 de metodologia, per a totes les longituds de la columna L .
- Deformació real del panell δ_{qi} : càlcul de la deformació a partir de l'equació 35 del capítol 2 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de k , i de q . Per aquesta raó, es calcula la deformació per a totes les longituds L i les seves k corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul de la deformació real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul de la deformació de cada càrrega q (en aquest cas 7): $\delta_{q1}, \delta_{q2}, \delta_{q3}, \delta_{q4}, \delta_{q5}, \delta_{q6}, \delta_{q7}$.

A partir d'aquestes dades, es comparen els valors últim δ_u i reals de la deformació δ_{qi} , senyalant per a quin valor de longitud la deformació real supera la última. Donat que existeixen diferents columnes per a les diferents deformacions reals segons la càrrega, es

necessita el mateix número de columnes per a realitzar la comparació. Un cop identificats els valors de longitud límit, aquests s'introdueixen automàticament a la taula de resultats.

Taula 3.9 Taula de càlculs segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.

L (mm)	k (mm)	$1+3,2k$	δ_u (mm)	δ_{q1} (mm)	δ_{q2} (mm)	δ_{q3} (mm)	δ_{q4} (mm)	δ_{q5} (mm)	δ_{q6} (mm)	δ_{q7} (mm)
20										
40										
60										
...										

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2.1.2 Taula de resultats del càlcul de la longitud segons la deformació en panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.

La taula de resultats, representada a la taula 3.10, inclou d'una banda les càrregues q i Q , que prenen automàticament el valor introduït a la pestanya de resultats, i de l'altra el valor de les longituds màximes resultants de la taula de càlcul L .

Taula 3.10 Taula de resultats pel càlcul segons la deformació en panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram.

Càrregues q (daN/m ²)
(N/mm)
L (mm)

El valor de les longituds resultants segons la deformació, s'introdueixen automàticament a la taula de resultats de la pestanya de resultats.

3.5.2.2 Panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades. Càlcul de dos trams iguals.

En aquest cas, les expressions que proporciona la normativa, de les quals s'ha d'aïllar la longitud L , són les següents:

$$Vu, Mu = f(q, L, k)$$

$$\partial u = f(q, Bs, L, k)$$

On de la mateixa manera que en el cas anterior,

Els valors límit dels panells V_u , M_u i δ_u s'obtenen a la pestanya corresponent de valors últims i valors límit.

La càrrega q és coneguda en tot moment i pot prendre qualsevol valor, que és introduït per l'usuari.

La variable de rigidesa B_s depèn de dades geomètriques conegudes.

Mentre que el factor corrector de la deformació per influència del tallant k depèn directament de la longitud:

$$k = f(B_s, A_c, G_c, L)$$

En aquest cas, totes tres variables V_u , M_u i δ_u depenen de L i de k , que a la vegada també depèn de L . Per tant, de la mateixa manera que en el cas de la deformació per un sol tram, el càlcul de la longitud per panells continus de dos trams obliga a utilitzar tres pestanyes addicionals: una pel càlcul de la longitud màxima segons el tallant, una altra segons el moment flector i una última segons la deformació.

Aquestes tres pestanyes addicionals, segueixen la mateixa estructura i funcionament que la que s'ha explicat per a la deformació de panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades d'un tram. Per tant, també estan compostes per una taula de càlculs i una de resultats, tot i això, només existeixen diferències en les variables utilitzades a la taula de càlculs.

Per aquesta raó, únicament es descriuen les taules de càlcul de les pestanyes de l'esforç tallant, del moment flector, i de la deformació per panells llisos o lleugerament perfilats de dos trams.

3.5.2.2.1 Taula de càlcul segons l'esforç tallant en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

La taula de càlculs de la longitud segons l'esforç tallant en panells de dos trams, que segueix l'estructura representada a la taula 3.11, inclou la següent informació:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : Càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L , seguint l'equació 37 del capítol 2 de metodologia.
- Càlcul del factor $(1 - (1/(4(1+k))))$ per a totes les longituds de la columna L .
- Esforç tallant real del panell $V_{q,i}$: càlcul de l'esforç tallant a partir de l'equació 40 del capítol 2 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de k , i de q . Per aquesta raó, es calcula l'esforç tallant per a totes les longituds L i les seves k corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul de l'esforç

tallant real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul de l'esforç tallant de cada carrega q (en aquest cas 7): $V_{q1}, V_{q2}, V_{q3}, V_{q4}, V_{q5}, V_{q6}, V_{q7}$.

De forma similar a la utilitzada en el càlcul de la longitud màxima segons la deformació en panells llisos o lleugerament perfilats d'un sol tram, aquí també es comparen els valors de l'esforç tallant real per a cada càrrega V_{qi} amb el valor de l'esforç tallant últim V_{su} . La diferència és que en aquest cas, l'esforç tallant últim no depèn de L i per tant té un únic valor, determinat a la pestanya de valors límit i últims.

Taula 3.11 Taula de càlculs segons l'esforç tallant en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

L (mm)	k (mm)	$1-(1/(4(1+k)))$	V_{q1} (N)	V_{q2} (N)	V_{q3} (N)	V_{q4} (N)	V_{q5} (N)	V_{q6} (N)	V_{q7} (N)
20									
40									
60									
...									

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2.2.2 Taula de càlcul segons el moment flector en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

La taula de càlculs de la longitud segons el moment flector en panells llisos o lleugerament perfilats de dos trams, que segueix l'estructura de la taula 3.12, inclou la següent informació:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : Càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L , seguint l'equació 37 del capítol 2 de metodologia.
- Càlcul del factor $(1-(1/(4(1+k))))$ per a totes les longituds de la columna L .
- Moment flector real del panell M_{qi} : càlcul del moment flector a partir l'equació 41 del capítol 3 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de k , i de q . Per aquesta raó, es calcula el moment flector per a totes les longituds L i les seves k corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul del moment flector real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul del moment flector de cada carrega q (en aquest cas 7): $M_{q1}, M_{q2}, M_{q3}, M_{q4}, M_{q5}, M_{q6}, M_{q7}$.

De la mateixa manera que pel càlcul de la longitud segons l'esforç tallant, aquí també es comparen els valors del moment flector real per a cada càrrega M_{qi} amb el valor moment flector últim M_u , que tampoc depèn de L i per tant té un únic valor determinat a la pestanya de valors límit i últims.

Taula 3.12 Taula de càlculs segons el moment flector en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

L (mm)	k (mm)	$1-(1/(4(1+k)))$	M_{q1} (Nmm)	M_{q2} (Nmm)	M_{q3} (Nmm)	M_{q4} (Nmm)	M_{q5} (Nmm)	M_{q6} (Nmm)	M_{q7} (Nmm)
20									
40									
60									
...									

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2.2.3 Taula de càlcul segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

La taula de càlculs de la longitud màxima segons la deformació en panells de dos trams, representada a la taula 3.13, inclou la següent informació:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : Càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L , seguint l'equació 37 del capítol 2 de metodologia.
- Càlcul del factor $((0,26k+2,6k+2k^2)/(1+k))$ per a totes les longituds de la columna L .
- Deformació última δ_u : càlcul de la deformació última segons la fletxa seguint l'equació 30 descrita al capítol 2 de metodologia, per a totes les longituds de la columna L .
- Deformació real del panell δ_{qi} : càlcul de la deformació a partir de l'equació 43 del capítol 2 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de k , i de q . Per aquesta raó, es calcula la deformació per a totes les longituds L i les seves k corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul de la deformació real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul de la deformació de cada càrrega q (en aquest cas 7): $\delta_{q1}, \delta_{q2}, \delta_{q3}, \delta_{q4}, \delta_{q5}, \delta_{q6}, \delta_{q7}$.

En aquest cas, el procediment seguit és idèntic al del càlcul de la longitud màxima segons la deformació en panells llisos o lleugerament perfilats d'un sol tram.

Taula 3.13 Taula de càlculs segons la deformació en panells de dues cares llises o lleugerament perfilades de dos trams.

L (mm)	k (mm)	$0,26+2,6K+...$	δ_u (mm)	δ_{q1} (mm)	δ_{q2} (mm)	δ_{q3} (mm)	δ_{q4} (mm)	δ_{q5} (mm)	δ_{q6} (mm)	δ_{q7} (mm)
20										
40										
60										
...										

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2.3 Panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada. Càlcul d'un tram.

Novament, per a determinar el valor de la longitud màxima entre recolzaments el procediment descrit a la metodologia és aïllar la variable longitud L de les fórmules que ens proporciona la normativa, que genèricament tenen la següent forma:

$$Vu = f(q, L)$$

$$Mu = f(q, L, \beta)$$

$$\delta u = f(q, Bs, L, k, \beta)$$

On,

Els valors límit del panells V_u , M_u i δ_u s'obtenen a la pestanya corresponent de valors últims i valors límit.

La càrrega q és coneguda en tot moment i pot prendre qualsevol valor, que és introduït per l'usuari.

La constant de rigidesa B_s depèn de dades geomètriques conegudes.

Mentre que el factor corrector de la deformació per influència del tallant k i la constant de rigidesa de la cara superior respecte tot el panell β depenen directament de la longitud L :

$$k = f(Bs, Ac, Gc, L)$$

$$\beta = f(Bs, B_{F1}, k)$$

Per tant, en el cas dels panells amb unes de les dues cares perfilades, la longitud màxima segons l'esforç tallant és fàcilment aïllable. Així, la implementació d'aquest càlcul es duu a terme directament a la pestanya de resultats seguint l'equació 45 descrita al capítol 2 de metodologia.

Pel que fa al moment flector i a la deformació, totes dues variables M_u i δ_u depenen de L i de k , que a la vegada també depèn de L . Per tant, de la mateixa manera que en el càlcul de la longitud màxima segons deformació en panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades d'un sol tram, en aquest cas també es necessiten dues pestanyes addicionals: una pel càlcul de la longitud màxima segons el moment flector i una última segons la deformació.

Com en la resta de casos on s'han utilitzat pestanyes addicionals, aquestes també estan compostes per una taula de càlculs i una de resultats. En tots dos casos segueixen la mateixa estructura que les explicades anteriorment, tot i això, en les taules de càlcul les variables que s'utilitzen són diferents segons faci referència al moment flector o a la deformació. Per aquesta raó només es descriuen les taules de càlcul.

3.5.2.3.1 Taula de càlcul segons el moment flector en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.

La taula de càlculs de la longitud segons el moment flector en panells amb una de les dues cares perfilada d'un sol tram, que segueix l'estructura de la taula 3.14, inclou la següent informació:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L , seguint l'equació 37 del capítol 2 de metodologia.
- β : càlcul de la constant de rigidesa de la cara superior respecte al panell per a totes les longituds de la columna L , segons indica l'equació 47 del capítol 2 de metodologia.
- Moment flector real del panell M_{qi} : càlcul del moment flector a partir l'equació 46 del capítol 2 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de β , i de q . Per aquesta raó, es calcula el moment flector per a totes les longituds L i les seves β corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul del moment flector real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul del moment flector de cada carrega q (en aquest cas 7): M_{q1} , M_{q2} , M_{q3} , M_{q4} , M_{q5} , M_{q6} , M_{q7} .

De la mateixa manera que en el cas dels panells amb les dues cares llises o lleugerament perfilades, aquí també es comparen els valors del moment flector real per a cada càrrega M_{qi} amb el valor moment flector últim M_u , que tampoc depèn de L i per tant té un únic valor determinat a la pestanya de valors límit i últims.

Taula 3.14 Taula de càlculs segons el moment flector en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.

L (mm)	k (mm)	β	M_{q1} (Nmm)	M_{q2} (Nmm)	M_{q3} (Nmm)	M_{q4} (Nmm)	M_{q5} (Nmm)	M_{q6} (Nmm)	M_{q7} (Nmm)
20									
40									
60									
...									

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

3.5.2.3.2 Taula de càlcul segons la deformació en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.

La taula de càlculs de la longitud màxima segons la deformació en panells amb una de les cares perfilades d'un sol tram, representada a la taula 3.15, inclou la següent informació:

- Longitud L : s'introdueix una columna de valors, amb una diferència de 20 mm entre ells, començant per una longitud inicial de 20mm.
- k : Càlcul del factor corrector de la deformació per influència del tallant k per a cadascuna de les longituds de la columna L , seguint l'equació 37 del capítol 2 de metodologia.
- Càlcul del factor $(1+3,2k)$ per a totes les longituds de la columna L .
- β : càlcul de la constant de rigidesa de la cara superior respecte al panell per a totes les longituds de la columna L , segons indica l'equació 47 del capítol 2 de metodologia.
- Deformació última δ_u : càlcul de la deformació última segons la fletxa seguint l'equació 30 descrita al capítol 2 de metodologia, per a totes les longituds de la columna L .
- Deformació real del panell δ_{qi} : càlcul de la deformació a partir de l'equació 50 del capítol 2 de metodologia. Aquesta fórmula depèn a la vegada de L , de k , de β i de q . Per aquesta raó, es calcula la deformació per a totes les longituds L i les seves k i β corresponents, i per a totes les càrregues q . Això comporta que el càlcul de la deformació real obligui a utilitzar una columna diferent per al càlcul de la deformació de cada carrega q (en aquest cas 7): $\delta_{q1}, \delta_{q2}, \delta_{q3}, \delta_{q4}, \delta_{q5}, \delta_{q6}, \delta_{q7}$.

En aquest cas, el procediment seguit és idèntic al del càlcul de la longitud màxima segons la deformació en panells llisos o lleugerament perfilats d'un sol tram.

Taula 3.15 Taula de càlculs segons la deformació en panells amb una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada d'un sol tram.

L (mm)	k (mm)	$1+3,2k$	β	δ_u (mm)	δ_{q1} (mm)	δ_{q2} (mm)	δ_{q3} (mm)	δ_{q4} (mm)	δ_{q5} (mm)	δ_{q6} (mm)	δ_{q7} (mm)
20											
40											
60											
...											

*Les files ombrejades són dades d'entrada de l'usuari.

Fins al moment s'ha desenvolupat la implementació del mètode de càlcul per als diferents tipus de panells que classifica la normativa. Tot seguit, es classifiquen els panells que s'analitzen e el present projecte per a poder determinar la seva implementació.

Aquesta classificació ve representada a la taula 3.16, juntament amb l'esquema d'implementació general de cadascun dels panells.

Taula 3.16 Taula resum de la implementació pròpia de cada panell.

Panells	Classificació	Pestanyes de la fulla d'Excel						
		Resultats	Geometria	Valors últims i límit	Longitud segons fletxa d'un tram	Longitud segons tallant de dos trams	Longitud segons moment de dos trams	Longitud segons fletxa de dos trams
HI-PIR/PUR F	Dues cares llises o lleugerament perfilades							
HI-PIR/PUR ST	Dues cares llises o lleugerament perfilades							
HI-PIR/PUR CT	Una cara llisa o lleugerament perfilada i l'altra perfilada				Longitud segons moment d'un tram	Longitud segons fletxa d'un tram		

4 RESULTATS

En aquest capítol es mostren els valors de longitud obtinguts aplicant la metodologia de càlcul segons la normativa EN-UNE 14509 descrita al capítol 2 del present projecte.

Els resultats estan reproduïts en tres taules diferents segons el tipus de panell. Les taules segueixen el mateix format que les taules d'utilització del catàleg general de Huurre Iberica S.A.: es tracta d'un encreuament entre espessors efectius a flexió i càrregues. A la mateixa taula es mostren els resultats dels panells d'un sol tram i dels panells en continu de dos trams, un sota l'altre.

Pel que fa a les unitats, els resultats de longitud entre recolzaments vénen donats en metres.

Recordem que la longitud resultant final pren el valor mínim entre les longituds segons el trencament per les cares, pel nucli o per la fletxa. Per tal de distingir quina de les tres parts del panell limita la longitud entre recolzaments, s'han ombrejat els resultats de tres colors diferents:

- El valor limitant correspon a les cares: color blau.
- El valor limitant correspon al nucli: color groc.
- El valor limitant correspon a la fletxa: color vermell.

4.1 Panells HI-PIR/PUR F

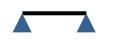
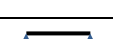
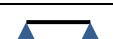
La taula 4.1 mostra els resultats obtinguts pel que fa als panells HI-PIR/PUR F.

A la taula s'observa com, lògicament, a més càrrega suportada menor és la longitud màxima permesa. En canvi, com major sigui l'espessor major serà la longitud màxima permesa.

Pel que fa a la part limitant del panell, en la gran majoria la causa principal és el trencament per fletxa. A mesura que s'apliquen càrregues i espessors majors, més influència té la resistència de les cares. En canvi, el nucli no n'és mai el factor limitant.

El primer valor limitat per la resistència de la xapa és un panell d'espessor efectiva de 150mm amb una càrrega aplicada de 150daN/m².

Taula 4.1 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR F segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació.

Espessor (mm)		Càrrega Q (daN/m ²)						
		50	75	100	125	150	175	200
60		5.30	4.65	4.23	3.93	3.69	3.51	3.35
		7.13	6.23	5.67	5.25	4.95	4.69	4.49
80		6.43	5.61	5.09	4.73	4.45	4.23	4.05
		8.61	7.51	6.83	6.63	5.97	5.67	5.41
100		7.43	6.49	5.91	5.47	5.15	4.89	4.69
		9.97	8.71	7.91	7.33	6.91	6.55	6.27
125		8.61	7.53	6.83	6.35	5.97	5.67	5.41
		11.53	10.07	9.15	8.49	7.99	7.59	7.21
150		9.71	8.49	7.71	7.15	6.72	6.22	5.51
		13.01	11.37	10.33	9.59	8.95	8.29	7.35
175		10.75	9.39	8.53	7.79	7.12	6.59	6.17
		14.41	12.59	11.43	10.39	9.49	8.79	8.23
200		11.75	10.27	9.14	8.18	7.46	6.91	6.46
		14.46	13.75	12.19	10.91	9.95	9.21	8.61

4.2 Panells HI-PIR/PUR ST

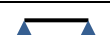
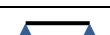
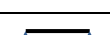
Pel que fa als panells HI-PIR/PUR ST, s'han analitzat dues varietats: la Standard i la Llisa.

Recordem que un cop simplificada la geometria, tal i com s'explica a la implementació del capítol 3, les dues varietats són iguals. Per aquesta raó, els resultats obtinguts són els mateixos per a la varietat Standard i per a la Llisa. La taula 4.2 mostra aquests resultats.

De la mateixa manera que en el panell anterior, la longitud màxima entre recolzaments del panell HI-PIR/PUR ST també serà major com major sigui l'espessor i menor la càrrega aplicada.

En aquest cas, el primer valor de longitud màxima entre recolzaments limitada per la xapa es dóna amb un espessor efectiu de 50mm i una càrrega de 175daN/m². De nou, la xapa és la responsable de la limitació del valor de longitud final mentre que el nucli no hi intervé.

Taula 4.2 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR ST segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació

Espessor		Càrrega Q (daN/m²)						
		50	75	100	125	150	175	200
35		4.55	3.97	3.61	3.35	3.15	2.99	2.87
		6.11	5.33	4.85	4.49	4.23	4.01	3.85
40		4.87	4.25	3.85	3.59	3.37	3.21	3.07
		6.51	5.69	5.17	4.79	4.51	4.29	4.11
50		5.45	4.77	4.33	4.01	3.77	3.53	3.30
		7.29	6.37	5.79	5.37	5.05	4.71	4.39
60		6.01	5.25	4.47	4.43	4.16	3.85	3.60
		8.05	7.03	6.39	5.93	5.55	5.13	4.79
80		7.05	6.15	5.59	5.19	4.85	4.49	4.20
		9.45	8.25	7.49	6.95	6.47	5.99	5.61
100		8.03	7.01	6.37	5.91	5.57	5.29	5.05
		10.75	9.39	8.53	7.91	7.45	7.07	6.77

4.3 Panells HI-PIR/PUR CT

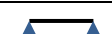
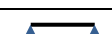
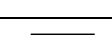
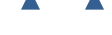
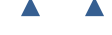
Els resultats del panell HI-PIR/PUR CT es mostren a la taula 4.3.

Si s'observa, no s'han obtingut resultats pel que fa als panells en continu de dos trams donat que la norma EN-UNE 14509 no suggereix cap metodologia de càlcul al respecte.

Degut a la seva cara perfilada, el factor limitant en tota la taula és la fletxa.

Pel que fa als resultats, si es volguessin publicar faltaria veure si comercialment cal aplicar-los algun factor de seguretat. Aquesta decisió la prendrà l'empresa Huurre Iberica S.A. un cop se'ls hagin lliurat les dades.

Taula 4.3 Taula de resultats de la longitud màxima (en metres) del panell HI-PIR/PUR CT segons la norma EN-UNE. Els resultats ombrejats en blau corresponen a la limitació per les cares, els ombrejats en groc a la limitació pel nucli, i en vermell per la deformació.

Espessor		Càrrega Q (daN/m²)						
		50	75	100	125	150	175	200
30		3.87	3.37	3.07	2.85	2.67	2.50	2.19
		-	-	-	-	-	-	-
40		4.47	3.91	3.55	3.29	3.11	2.95	2.83
		-	-	-	-	-	-	-
50		5.07	4.43	4.03	3.73	3.51	3.33	3.19
		-	-	-	-	-	-	-
60		5.63	4.93	4.47	4.15	3.91	3.71	3.55
		-	-	-	-	-	-	-
80		6.71	5.85	5.33	4.93	4.65	4.41	4.23
		-	-	-	-	-	-	-
120		8.63	7.55	6.85	6.37	5.99	5.69	5.43
		-	-	-	-	-	-	-

5 RESUM DEL PRESSUPOST

L'elaboració del present projecte té un cost total de QUATRE-CENTS CINQUANTA-DOS AMB VINT-I-QUATRE CÈNTIMS (452.24€).

6 CONCLUSIONS

L'objectiu del present projecte era reestablir els valors de longitud de les taules d'utilització del catàleg general de Huurre Ibera S.A. pel que fa als panells HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR ST Standard, HI-PIR/PUR ST Llis i HI-PIR/PUR CT. Finalment, s'ha aconseguit no només restablir aquests valors, sinó també dissenyar una fulla d'Excel capaç de calcular la longitud màxima entre recolzaments per a qualsevol valor d'espessor efectiu a flexió i valor de càrrega. Per tant, s'ha complert totalment amb l'objectiu.

Abans d'iniciar el projecte va ser necessari analitzar la norma EN-UNE 14509. Això va donar-me la oportunitat de tractar aquest àmbit de l'enginyeria, que fins al moment no hi havia tingut cap contacte.

Durant la realització del projecte, ha estat necessari un contacte més proper amb l'empresa Huurre Iberica S.A. per tal d'obtenir la informació necessària. Això m'ha permès conèixer més a fons aquesta branca de la construcció, i més concretament els productes que ells fabriquen.

Per últim, tenir en compte que com a treballs futurs seria convenient aplicar la mateixa metodologia a tots els productes que ofereix Huurre Iberica S.A. I, al mateix temps, ampliar l'aplicació de la norma al tema de fixacions i recolzaments. La metodologia per a dur-ho a terme està creada, per tant, únicament caldria adaptar el programa dissenyat als altres panells, que no té cap complicació.

A més, tenint en compte que l'empresa disposa d'un programa de càlcul de panells anomenat *Sandstat*, una solució per a donar un pas endavant seria aplicar la informació i les eines recopilades en aquest projecte al programa.

Marta Gascons i Pagès

Girona, 20 de febrer de 2015

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] JOSÉ LUIS ESTEBAN, JOSÉ MARÍA CHILLÓN. Ensayos sobre panel sandwich. Infome nº 19.621-I. Instituto de Ciencias de la Contrucción Eduardo Torroja. 2009.
- [2] CECILIO LÓPEZ HOMBRADOS, ANA ZAMORA BRAGADO. Ensayos sobre panel sandwich. Infome nº 19.621-II. Instituto de Ciencias de la Contrucción Eduardo Torroja. 2009.
- [3] Norma espanyola EN-UNE 14509. Paneles sándwich aislantes autoportantes de doble cara metálica. 2007.
- [4] JAMES M. GERE. Mecánica de materiales. Editorial Thomson. 2011.
- [5] HUURRE IBERICA. Catàleg general de Huurre Iberica S.A. IT-gc-76 Rev.0. Huurre Iberica S.A. 2014.

ANNEXOS

A DESCRIPCIÓ DE LA NORMA EUROPEA EN-UNE 14509

La norma EN-UNE 14509 correspon a la versió oficial espanyola de la Norma Europea EN 14509:2006.

Aquesta Norma Europea especifica els requeriments per a la fabricació de panells sàndwich aïllants de doble cara metàl·lica i autoportants, que han estat dissenyats per a col·locar-se en discontinu en les aplicacions que es mostren a continuació:

- Cobertes i revestiments de sostres.
- Parets exteriors i revestiments de parets.
- Parets i sostres a l'interior d'edificis.

No obstant, són objecte d'aquesta norma únicament els panells amb nucli aïllant de poliuretà rígid, poliestirè expandit, espuma de poliestirè extorsionat, espuma fenòlica, vidre cel·lular o llana mineral. A més, també s'inclouen els panells que utilitzen pels costats del nucli materials diferents als del nucli aïllant principal, com també els panells pensats per a cambres frigorífiques.

D'altra banda, queden exclosos de la Norma Europea els següents:

- Panells sandwich amb una conductivitat tèrmica declarada del nucli aïllant major de 0,06W/m·K a 10°C.
- Productes el nucli aïllant dels quals consisteix en dos o més capes de diferents materials clarament definides (multicapa).
- Panells amb cares perforades.
- Panells corbats.

A.1 Estructura de la norma

Pel que fa a la seva estructura, està composta per 4 blocs principals, que corresponen als capítols 5, 6, 7 i 8, i 6 annexos (A-ZA). Dels quatre blocs principals, cal destacar els dos primers ja que intervenen directament en el present projecte. De la mateixa manera, es prendrà especial atenció en l'annex E.

A.1.1 Bloc 1: capítol 5 de la norma

Pel que fa al bloc u, en primer lloc dedica un espai als requisits dels materials dels components, on s'indica a quines normes europees han d'ajustar-se cadascun d'ells. Els materials dels

components inclouen les cares de metall amb totes les seves possibilitats (acer normal, acer inoxidable, alumini i coure) i els materials del nucli.

En segon lloc, se centra en les propietats dels panells concretant la normativa europea que cal seguir per a determinar-les. Entre les propietats, esmena la resistència mecànica i tots els factors característics d'aquesta, la transmitància tèrmica, la durabilitat i altres efectes a llarg termini com poden ser: la reducció de la resistència a tracció causada per l'envelliment o la resistència a càrregues puntuals, la seguretat en cas d'incendi on s'engloba la reacció i la resistència al foc i el seu comportament al foc extern, la permeabilitat a l'aigua, la permeabilitat a l'aire, la permeabilitat al vapor d'aigua, l'aïllament al soroll aeri i l'absorció acústica.

Per últim tracta de les accions i els requisits de nivell de seguretat. Per una banda insisteix en la resistència mecànica a les càrregues calculada i la posterior verificació de la seguretat del producte mitjançant els càlculs de l'Annex E de la normativa. D'altra banda comenta que en el càlcul d'aquesta resistència mecànica hi intervenen diferents accions i combinacions també detallades en l'Annex E.

A.1.2 Bloc 2: capítol 6 de la norma

El segon bloc està dedicat a l'avaluació de conformitat, els assajos, les valoracions i la presa de mostres.

Pel que fa a l'avaluació de conformitat d'acord amb la present norma europea, són necessaris els següents documents:

- Assaig de tipus inicial (ITT).

Aquest inclou l'avaluació de tipus inicial, que és necessària per a demostrar la conformitat d'acord amb la present norma europea i cal realitzar-la segons les indicacions de la taula 4 de la norma, les consideracions durant presa de mostres per ITT, i els propis assajos i els seus criteris de conformitat.

- Control de producció a fàbrica (CPF)

Amb aquest es controlen les matèries primeres, els equips, el procés de producció i els productes en curs i finals. És necessari per tal d'assegurar la conformitat de les característiques que estan indicades en cadascuna de les parts acabades d'esmenar. Aquest apartat doncs, determina els equips que cal utilitzar, la valoració dels resultats de l'assaig, les consideracions a tenir en compte amb les matèries primeres, els

procediments dels propis controls de producte (existents a la taula 5 de la norma) i la seva avaluació, i per últim, les consideracions en la conformitat del control de producció.

- Inspecció inicial (CPF), quan sigui necessària.
- Vigilància contínua CPF), quan sigui necessària.

A.1.3 Bloc 3: capítols 7 i 8 de la norma

Dels blocs secundaris, que corresponen als apartats 7 i 8 de la present norma europea, el primer tracta de la classificació i la designació dels panells, donant com a pauta la taula 8 descrita en el document.

El segon dels blocs parla del marcatge, l'etiquetatge i l'embalatge dels panells, donant les especificacions requerides als fabricants en aquests tres punts del procés.

A.1.4 Annexos de la norma

Pel que fa als annexos, aquests es divideixen en sis: l'annex A, l'annex B, l'annex C, l'annex D, l'annex E i l'annex ZA.

A.1.4.1 Annex A de la norma

L'annex A descriu detalladament els procediments de l'assaig per les propietats del material, així doncs, és una continuació del primer bloc (apartat 5 de la norma europea).

Per a cadascuna de les propietats que engloba en detalla els aparells que s'utilitzen, les provetes d'assaig, el procediment que cal seguir i els càlculs per a determinar el valor resultant.

Aquest inclou:

- Assaig de tracció perpendicular a les cares del panell.
- Resistència i mòdul de compressió del material del nucli.
- Assaig de resistència a esforç tallant sobre el material del nucli.
- Assaig per a determinar les propietats d'esforç tallant d'un panell complet.
- Assaig per determinar la rigidesa i la capacitat del moment flector d'un panell sobre dos suports.
- Determinació del coeficient de fluència (ϕ_t).
- Interacció entre el moment flector i la reacció del suport.
- Determinació de la densitat aparent del nucli i de la massa del panell.

- Assaig per la resistència a càrregues puntuals i càrregues repetides.
- Mètode de càlcul per la determinació de la transmitància tèrmica d'un panell (U).
- Permeabilitat a l'aigua – resistència a la pluja torrencial sota pressió polsant.
- Permeabilitat a l'aire.
- Aïllament al soroll aeri.
- Absorció acústica.
- Capacitat de reacció de suport en l'extrem d'un panell.
- Registre i interpretació dels resultats de l'assaig.

En aquest apartat de l'annex es fa referència als assajos ITT i CPF tractats al segon bloc (apartat 6 de la norma)

A.1.4.2 Annex B de la norma

L'annex B desenvolupa el mètode d'assaig de durabilitat dels panells sàndwich.

Per a la determinació de la durabilitat són necessaris els dos cicles d'assaig climàtics denominats com DUR1 i DUR2. D'aquesta manera, aquest annex de la norma europea descriu els assajos DUR1 (apartat B.2 de la norma) i DUR2 (apartat B.3 de la norma), detallant el seu principi, els aparells que s'utilitzen, les característiques de les provetes d'assaig, el procediment i l'anàlisi dels resultats de l'assaig juntament amb els criteris d'acceptació d'aquests.

D'altra banda, inclou també tota la informació necessària per a realitzar l'informe de l'assaig sobre els assajos de durabilitat.

Donada la importància de la unió adhesiva entre les cares i el material del nucli prefabricat, l'annex B també tracta l'assaig de cunya (apartat B.5 de la norma), utilitzat per a controlar aquesta adhesió entre adhesius i el recobriment superficial intern de les cares. De la mateixa manera que la resta d'assajos, descriu el principi, els aparells, les provetes d'assaig, el procediment i l'anàlisi dels resultats i el seu criteri d'acceptació.

Un altre assaig que forma part del procediment d'avaluació de la durabilitat dels panells és el de càrrega repetida (apartat B.6 de la norma). Aquest assaig però, és només d'aplicació en segons quin tipus de panell sàndwich (taula 2, apartat 5.2.3.1. de la norma). També se'n descriu el principi, els aparells, les provetes d'assaig, el procediment, els càlculs i els resultats.

I per últim, un altre assaig que intervé en el procediment de càlcul de la durabilitat d'un panell és el de xoc tèrmic (apartat B.7 de la norma). A l'igual que l'assaig de càrrega repetida, la seva

aplicació també és limitada. Dins d'aquest apartat també es desenvolupen el principi de l'assaig, els aparells, les provetes, el procediment, els càlculs i els resultats.

A.1.4.3 Annex C de la norma

L'annex C fa referència als assajos de comportament davant el foc.

Així, s'estructura en els 4 apartats que es mostren tot seguit:

- Reacció al foc (apartat C.1 de la norma).

En el present apartat es desenvolupen dos assajos de reacció al foc: L'Assaig segons la Norma Europea EN 13823 (SBI) i l' Assaig segons la Norma Europea EN ISO 11925-2 (assaig d'ignició). Pel primer d'aquests es detallen els trets generals de l'assaig, la caracterització de les provetes, i el muntatge i fixacions que requereix l'assaig, depenent del tipus de panell. Pel segon, en canvi, es tracten les generalitats de l'assaig, les característiques de les provetes, i la determinació dels resultats.

A més, també hi ha una part del text dedicada al camp directe d'aplicació dels resultats dels assajos de reacció al foc (taula C.1 de la norma).

- Resistència al foc (apartat C.2 de la norma).

Aquest descriu l'Assaig segons la Norma Europea EN 1365-2, especial pel cobertes, tractant per separat les generalitats, els aparells utilitzats, el procediment a seguir i els resultats obtinguts. També fa referència al camp d'aplicació dels resultats de l'assaig (taula C.2 de la norma).

- Assajos segons la Norma Europea ENV 1187 (apartat C.3 de la norma)

Aquest assaig estudia el comportament al foc exterior en cobertes. Per a realitzar aquest estudi, en primer lloc es descriuen els tipus de panells que ja han estat classificats sense assaig per la CWFT.

En segon lloc, es descriuen els diferents mètodes d'assaig segons la Norma Europea ENV 1187 que es mostren a continuació:

- Mètode 1 d'assaig de la Norma Europea Experimental ENV 1187.
- Mètode 2 d'assaig de la Norma Europea Experimental ENV 1187.
- Mètode 3 d'assaig de la Norma Europea Experimental ENV 1187.
- Mètode 4 d'assaig de la Norma Europea Experimental ENV 1187.

- Determinació de la quantitat i l'espessor de la capa adhesiva (apartat C.4 de la norma).

Aquest apartat està dedicat als casos en que es requereixi la quantitat i l'espessor de la capa adhesiva. D'aquesta manera, es desenvolupen els diferents mètodes a utilitzar segons si cal realitzar els mesurament d'un panell prefabricat (apartat C.4.2 de la norma) o durant la producció (apartat C.4.3 de la norma).

A.1.4.4 Annex D de la norma

L'annex D fa referència a les toleràncies dimensionals. De la mateixa manera que l'apartat 5.2.5 de la norma europea tractava les toleràncies màximes permeses, en el present es tracten les toleràncies per aplicacions de mesura realitzades a fàbrica, abans del subministrament del producte i amb panells que hagin arribat a condicions estables.

Així, es detallen les toleràncies dimensionals de les següents propietats:

- Toleràncies dimensionals.
- Espessor del panell i conformitat de la junta.
- Desviació respecte a la planicitat.
- Altura del perfil metàl·lic.
- Profunditat dels nervis de les cares lleugerament perfilades.
- Longitud.
- Amplada útil.
- Falta d'esquadra.
- Desviació de la rectitud.
- Corbat.
- Pas del perfil.
- Amplades del nervi i de la vall.

A.1.4.5 Annex E de la norma

L'Annex E inclou d'una banda les característiques de resistència mecànica que es requereixen per la norma i de l'altra els mètodes necessaris pel seu càlcul.

Aquesta informació s'estructura en 7 apartats que es detallen a continuació:

- Propietats del panell sàndwich:

Es detallen les propietats elementals a partir de les diferents seccions d'un panell.

1. Generalitats:

Es descriu la base del càlcul d'aquest annex que consisteix en la comparació dels valors obtinguts en el càlcul dels efectes de les accions amb els valors de càlcul de la resistència o bé amb el criteri de ELS tenint en compte els coeficients parcials del material.

2. Accions

S'identifiquen els diferents tipus d'accions: les permanents, les variables, i les degudes a efectes a llarg termini.

3. Resistència

En primer lloc s'indica quin apartat de la present norma europea cal seguir per a determinar els valors de resistència necessaris pels càlculs.

En segon lloc, s'anomenen els diferents valors característics de resistència i els requisits de càlcul addicionals i s'associen els procediments o assajos que cal seguir per a determinar-los.

En tercer lloc, es relacionen les diferents possibilitats de la corba càrrega-deformació amb l'ELU o l'ELS, i de quina manera s'han de tractar els seus valors dins el càlcul.

Per últim, es fa referència la capacitat de reacció en el suport indicant l'assaig necessari o bé el càlcul a desenvolupar per a la seva determinació.

4. Regles de combinació

En el present apartat es descriuen els principis mitjançant els quals s'han de comparar les combinacions d'accions amb les corresponents resistències per a proporcionar els nivells de seguretat en els estats límit últim i de servei. Així, fa referència tant a l'Estat Límit Últim com a l'Estat Límit de Servei, i les combinacions dels efectes de les accions per a cadascun dels dos estats (taula E.4 i taula E.5 de la norma).

5. Coeficients de combinació i coeficients de seguretat

D'una banda, es descriuen els valors dels coeficients de combinació (taula E.6 o taula E.7 de la norma) i els coeficients de càrrega (taula E.8 de la norma). En ambdós casos es detallen els requisits per la seva utilització.

D'altra banda, es descriu els coeficients de seguretat dels materials i es desenvolupen dues alternatives pel seu càlcul. A més, també s'inclouen valors indicatius dels coeficients.

6. Càlcul dels efectes de les accions

L'apartat E.7 de la norma europea fa referència a la determinació dels valors de la tensió resultant. En descriuen tots els detalls al llarg dels 5 punts que es mostren a continuació:

- Mètodes d'anàlisi:

Es descriuen els dos possibles mètodes per a determinar el tipus de procediment a seguir pel càlcul de la tensió resultant: l'anàlisi elàstic i el plàstic. La descripció inclou les restriccions aplicades a cadascun d'ells relacionades amb el càlcul.

També s'informa de les nocions bàsiques estructurals i les consideracions a tenir en compte a l'hora de realitzar els càlculs.

Per últim, es desenvolupen les equacions o assajos necessaris pel càlcul de les tensions de flexió, tensions tallants i reaccions en els suports, que dependran directament del tipus d'anàlisi utilitzat.

- Descripció de les diferents consideracions i suposicions a tenir en compte en el sistema estàtic que s'utilitza pel càlcul, en la geometria i en l'espessor del propi panell.
- Panells sàndwich amb cares planes o lleugerament perfilades. Es descriuen les consideracions a tenir en compte en aquest tipus específic de panells, com també el seu comportament estàtic en diferents situacions (taula E.10.1): quan estan suportats en un sol tram, o quan són continus suportats en trams múltiples.
- Panells amb cares fortament perfilades. Es descriuen les consideracions a tenir en compte en aquest tipus específic de panells, com també el seu comportament estàtic en diferents situacions (taula E.10.2 de la norma): quan estan suportats en un sol tram, o quan són continus suportats en trams múltiples.

- Influència del temps en les deformacions per esforç tallant en el nucli, determinant el procediment a seguir en els casos pertinents.

A.1.4.6 Annex ZA de la norma

Aquest és un annex informatiu, on s'estableixen les condicions pel mercat CE dels panells sàndwich per a les utilitats indicades a les taules ZA.1.1 i ZA.1.2 de l'annex.

La seva estructura es divideix en els tres apartats descrits a continuació:

- Descripció de l'objecte, el camp d'aplicació i les característiques relatives als requisits essencials.
- Desenvolupament del procediment de verificació de la conformitat dels panells sàndwich. Aquest inclou els sistemes de verificació de la conformitat i el certificat i la declaració de conformitat CE.
- Descripció del marcat CE i l'etiquetatge, on es presenten les característiques generals, la informació que acompanya al marcat CE i al seu símbol, i per últim s'exemplifica de diverses maneres el marcat.

B ANNEX E DE LA NORMA EN-UNE 14509

Donat que l'objectiu del present projecte és refer els càlculs dels panells segons s'especifica a la nova normativa, i tenint en compte que aquestes especificacions de càlcul estan descrites a l'annex E, tot seguit es desenvolupen de forma més exacte tots els continguts que aquest inclou.

B.1 Generalitats

La finalitat d'aquest annex és calcular els efectes de les accions E_d i comparar-los o bé amb la resistència corresponent R_d o bé amb el criteri d'estat límit de servei aplicable C_d tenint en compte els coeficients parcials del material γ_m :

Estat límit últim (comparació accions – resistència):

$$E_{ULS;d} \leq R_d \quad \text{Eq. 52}$$

Estat límit de servei (criteri estat límit de servei):

$$E_{SLS;d} \leq C_d \quad \text{Eq. 53}$$

On,

$E_{ULS;d}$, $E_{SLS;d}$: valors de càlcul dels efectes de les accions. És a dir:

$$E_d = \sum \gamma_f \cdot \varphi \cdot S_{ki} \quad \text{Eq. 54}$$

R_d : valor de la resistència en l'estat límit últim. Es determina mitjançant l'equació:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{Eq. 55}$$

C_d : valor limitador en el criteri de funcionament aplicable, expressat com la màxima tensió de càlcul en l'estat límit de servei, tenint en compte el coeficient parcial del material en el càlcul de l'estat límit de servei γ_M

S_{ki} : valor característic d'una acció.

γ_f : coeficient de càrrega aplicable.

ψ : coeficient de combinació aplicable.

γ_m : coeficient parcial del material aplicable.

R_k : valor calculat o experimental de la resistència característica.

B.2 Accions

Es contemplen 3 tipus d'accions definides als apartats descrits a continuació.

B.2.1 Accions permanents

Les accions permanents inclouen:

- Pes propi del panell (calculat a partir de les dimensions nominals i les densitats mitges).
- Massa d'aquells elements permanents de l'estructura i l'instal·lació que apliquin càrrega al panell.
- Deformacions imposades permanents, com poden ser les degudes a les temperatures, calculades a partir dels valors nominals corresponents.

B.2.2 Accions variables

Les accions variables inclouen:

- Neu.
- Càrregues mòbils (p.e. degudes a l'accés a coberta).
- Càrregues per vent.
- Càrregues de construcció.
- Efectes climàtics (p.e. degudes al gradient de temperatura entre les cares del panell).
En cas que els valors de les temperatures exteriors (T_1) no estiguin especificats per les normatives nacionals, s'utilitzaran els valors descrits dins l'apartat E.3.3 de la norma.

B.2.3 Accions degudes a efectes a llarg termini

Les accions degudes a efectes a llarg termini només s'inclouen als panells utilitzats en cobertes, pels que s'ha de tenir en compte la fluència del material del nucli en els càlculs donat que pot provocar canvis en les tensions i les deformacions amb el temps.

B.3 Resistència

Els valors de resistència necessaris pel càlcul s'han de calcular d'acord amb l'apartat 5.3 de la normativa, però en determinades aplicacions poden ser necessaris els procediments que es descriuen en els apartats B.3.1, B.3.2 del present annex.

B.3.1 Resistència residual a la flexió (restant) en un suport intermedi

Si la corba càrrega-deformació, determinada segons l'apartat A.7 de la norma, és de la forma que es mostra a la figura B.1, el moment flector màxim en un suport intermedi correspon a

una estat límit de servei. A més, en els casos on sigui necessari, caldrà determinar un moment residual diferent de zero i incorporar-lo als càlculs en l'estat límit últim.

Si la corba càrrega-deformació cau de sobte, tal i com mostra la figura B.2, el moment flector màxim en un suport intermedi correspon a l'estat límit últim.

La determinació del moment residual diferent de zero M_{rest} , es durà a terme mitjançant una corba càrrega-deformació del tipus (a) restant el component elàstic de la deformació i elegint M_{rest} com el moment en la part de la caiguda de la corba corresponent a una rotació de de 3° .

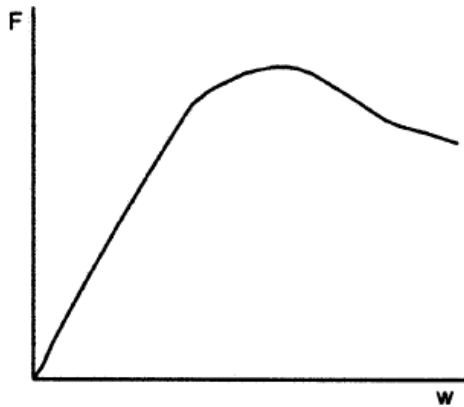


Figura B.1 Corba de càrrega-deformació (fallada gradual amb caiguda progressiva) (Font: Normativa europea EN-UNE 14509).

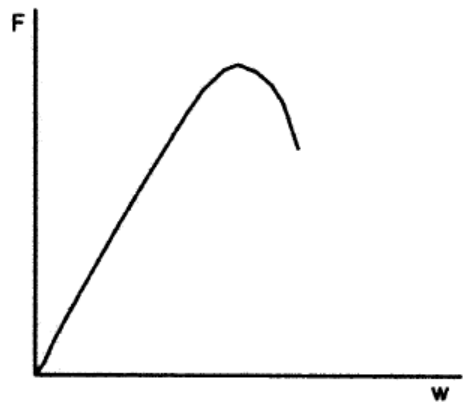


Figura B.2 Corba càrrega-deformació (fallada de sobte amb pèrdua ràpida de la càrrega) (Font: Normativa europea EN-UNE 14509).

B.3.2 Capacitat de reacció en el suport de l'extrem

La capacitat de reacció d'un suport es determina mitjançant els càlculs descrits a continuació.

Pel que fa a suports en els extrems on la cara de contacte és plana o lleugerament perfilada:

$$F_{R1} = B \cdot (L_S + 0,5 \cdot k \cdot e) \cdot f_{Cc} \quad \text{Eq. 56}$$

Val a dir que també pot determinar-se segons l'assaig descrit a l'apartat A.15.5. de la norma.

Pel que fa a suports interns:

$$F_{R2} = B \cdot (L_S + k \cdot e) \cdot f_{Cc} \quad \text{Eq. 57}$$

On,

B : amplada del panell.

L_S : amplada del suport.

e : distància entre centroides de les cares.

f_{Cc} : valor declarat de la força de compressió després d'un assaig de tipus inicial.

k : paràmetre de distribució. Aquest valor s'ha de determinar mitjançant l'assaig A.15.5 o bé prenent els valors descrits a l'apartat E.4.3.2 de la normativa.

B.4 Regles de combinació

B.4.1 Estat límit últim

L'estat límit últim, que correspon a la màxima resistència de càrrega del panell, es caracteritzarà mitjançant el mètode de ruptura més crític entre els que es presenten a continuació:

- Fluència d'una cara del panell fins al trencament.
- Arrugament (ondulació superficial localitzada) d'una cara el panell amb el conseqüent trencament.
- Trencament per esforç tallant del nucli.
- Trencament de la unió entre la cara i el nucli.
- Trencament per esforç tallant d'una cara perfilada.
- Aixafament del nucli en els suports.
- Trencament del panells en els punts de contacte amb l'estructura portant.

Per a cada situació de càrrega, el càlcul dels efectes de les accions en l'estat límit últim s'efectua sumant els efectes de les accions separades multiplicats pels seus coeficients de càrrega corresponents i pels coeficients de combinació. A continuació es mostren els diferents sumands:

- Accions permanents G_d (pes propi, etc): $\gamma_G \cdot G_K$
- Accions variables: Q_d
- Valor característic de l'acció dominant: $\gamma_{Q1} \cdot G_{K1}$
- Resta d'accions amb el coeficient de combinació: $\gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Els valors característics de les diferents accions, s'han de combinar tal i com es mostra a continuació:

$$S_d = \gamma_G \cdot G_K + \gamma_{Q1} \cdot G_{K1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \text{Eq. 58}$$

On,

G_K : valor característic de l'acció permanent.

Q_{K1} : valor característic de l'acció variable dominant.

Q_{ki} : valor característic de l'acció variable no dominant i ($i>1$).

γ_G : coeficient de seguretat parcial de l'acció permanent.

γ_{Qi} : coeficient de seguretat parcial de l'acció variable i.

ψ_0 : coeficient de combinació d'una acció variable i.

B.4.2 Estat límit de servei

L'estat límit de servei consisteix en assegurar el funcionament adequat dels panells quan treballen amb les càrregues de funcionament habitual. Aquest estat es caracteritza per qualsevol de les següents situacions:

- Fluència, sense trencament, d'una cara de panell.
- Arrugament (ondulació superficial local), sense trencament, d'una cara del panell.
- Trencament per esforç tallant al nucli.
- Trencament de la unió entre la cara i el nucli.
- Superació d'un límit de deformació especificat.

Per a cada situació de càrrega, el càlcul dels efectes de les accions en l'estat límit de servei s'efectua sumant els efectes de les accions separades multiplicats pels seus coeficients de càrrega corresponents i pels coeficients de combinació.

Val a dir, que en l'estat límit últim s'utilitzen dues combinacions: la combinació característica i la combinació freqüent. Tot seguit es mostren les expressions de càlcul de cadascuna d'elles:

- Combinació característica (no habitual): s'utilitza per a descartar danys visibles al panell en l'estat límit de servei.

Valors de càlcul utilitzats:

- Accions permanents G_d : G_K
- Accions variables Q_d
- Dominant: Q_{k1}
- Altres: $\psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Expressió de càlcul:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{Kj} + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \text{Eq. 59}$$

- Combinació freqüent: s'utilitza per a controlar les deformacions

Valors de càlcul utilitzats:

- Accions permanents G_d : G_K
- Accions variables Q_d
- Dominant: $\psi_{11} \cdot Q_{k1}$
- Altres: $\psi_{0i} \cdot \psi_{1i} \cdot Q_{ki}$

Expressió de càlcul:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{Kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot \psi_{1i} \cdot Q_{ki} \quad \text{Eq. 60}$$

On,

ψ_{0i} : coeficient de combinació d'una acció variable i ($i > 1$) per utilitzar-lo en combinacions característiques.

ψ_{11} : coeficient de combinació de l'efecte de l'acció dominant Q_{k1} per utilitzar-lo e combinacions freqüents.

ψ_{1i} : coeficient de combinació dels efectes de les altres accions Q_{ki} ($i > 1$) per utilitzar-lo en combinacions freqüents.

Per als dos tipus de combinacions, s'agafaran 1 i 0 com a valors dels coeficients de càrrega γ_G i γ_Q .

B.5 Coeficients de combinació i coeficients de seguretat

En aquest apartat es defineixen els coeficients de combinació, els coeficients de càrrega i els coeficients dels materials.

Pel que fa als coeficients de combinació, ψ_{0i} i ψ_{1i} , aquests prenen els valors que es mostren a la taula B.1, sempre i quan la normativa nacional no digui el contrari:

Taula B.1 Valors dels coeficients de combinació ψ_0 i ψ_1 en el càlcul per l'E.L.U.

Coeficients de combinació	Coeficients		
	Neu	Vent	Temperatura
ψ_0	0,6	0,6	0,6 / 1,0 ^a
ψ_1	0,75 / 1,0 ^b	0,7 / 1,0 ^b	1,0
^a El coeficient $\psi_0=1,0$ s'utilitza si la temperatura d'hivern ($T_1=0^\circ\text{C}$) es combina amb neu. ^b El coeficient $\psi_1=0,75$ per neu i vent s'utilitza si la combinació inclou els efectes de dues o més accions variables. I el coeficient $\psi_1=1,0$ per neu i vent s'utilitza si la combinació només inclou un efecte d'una acció única representant les accions variables, provocat ja sigui per la càrrega única de la neu o per la càrrega única del vent, actuant soles.			

De la mateixa manera, pels coeficients de càrrega γ_F s'han d'utilitzar els valors definits a la taula B.2 sempre que la normativa nacional no n'indiqui d'altres. Cal tenir en compte que el coeficients entre parèntesis per les accions permanents únicament s'utilitza si l'efecte de l'acció és favorable.

Taula B.2 Coeficients de càrrega γ_F .

Accions	Estat límit	
	Estat límit últim	Estat límit de servei
Accions permanents G	1,35 (1,00)	1,00
Accions variables	1,50	1,00
Accions de la temperatura	1,50 ^a	1,00
Efectes de la fluència	1,00	1,00
^a Les accions de la temperatura poden substituir-se per 1,35 quan les disposicions regulatòries vàlides en el país d'utilització del panell ho requereixin.		

Per últim, els coeficients dels materials γ_M es determinen d'acord amb la Norma Europea EN 1990 tal i com es mostra a continuació, sempre i quan no existeixin els valors corresponents als requisits de la normativa nacional:

Per l'estat límit últim:

$$\gamma_M = 1,05 \cdot e^{(0,8 \cdot 4,7 - 1,645)\nu} = 1,05 \cdot e^{2,115\nu} \quad \text{Eq. 61}$$

Per l'estat límit de servei:

$$\gamma_M = 1,0 \cdot e^{(0,8 \cdot 3,0 - 1,645)\nu} = 1,05 \cdot e^{0,755\nu} \quad \text{Eq. 62}$$

On,

ν : variància de $\ln(x)$

x : població de resultats d'assaig

Per tant, en cada cas és necessari determinar la variància ν dels corresponents resultats d'assaig. Inicialment, ν s'ha de basar en l'assaig tipus inicial d'un sol lot de producte. Posteriorment, el valor ν utilitzat en el càlcul s'ha de comprovar amb els resultats del control de producció de fàbrica, i els coeficients de seguretat del material s'actualitzaran si és necessari.

En cas de no disposar de les dades necessàries dels assajos, la norma proposa una sèrie de valors descrits a la taula B.3.

Taula B.3 Coeficients de seguretat del material γ_m .

Propietat a la que se li aplica γ_m	Estat límit últim	Estat límit de servei
Fluència en una de els cares metàl·liques	1,1	1,0
Arrugament d'una cara metàl·lica d'un tram	1,25	1,1
Arrugament d'una cara metàl·lica en dos trams	1,25 ^a	1,1
Esforç tallant del nucli	1,5	1,1
Fallada per esforç tallant d'una cara perfilada	1,1	1,0
Aixafament del nucli	1,4	1,1
Reacció del suport sobre una cara perfilada	1,1	1,0
Fallada d'una fixació	1,33 ^b	1,0 ^b
Fallo d'un element en un punt de connexió	1,33 ^b	1,0 ^b

^a El coeficient del material per l'arrugament en l'estat límit últim és necessari si el càlcul es basa en l'anàlisi elàstic o si s'utilitza una resistència a la flexió diferent de zero en el suport intermedi en un càlcul basat en l'anàlisi plàstic.

^b Si el valor característic de la força d'una fixació no es basa en un número suficient d'assajos per obtenir un valor estadísticament significatiu, s'ha d'utilitzar un valor major per als coeficients del material.

B.6 Càlcul dels efectes de les accions

Per tal de determinar les resultants de la tensió, s'han d'utilitzar uns dels mètodes d'anàlisi proposats als apartats B.6.1 i B.6.2.

B.6.1 Anàlisi elàstic

Aquest anàlisi s'ha d'utilitzar per l'estat límit de servei, però també pot utilitzar-se per l'estat límit últim. Els efectes d'acció S (moment flector, forces normals i esforç tallant) resultants de la combinació de totes les accions aplicades al panell, es determinen a partir de la teoria de l'elasticitat tenint en compte la deformació tallant del material del nucli.

B.6.2 Anàlisi plàstic

Aquest anàlisi s'ha d'utilitzar únicament per l'estat límit últim i sempre que el càlcul estigui limitat per les tensions de flexió en el suport intern. I en cap cas s'ha d'utilitzar quan la primera fallada sigui per un trencament per esforç tallant del nucli.

B.6.3 Principis estructurals generals

En l'interval de deformacions considerades, els materials del nucli i de les cares són linealment elàstics. També cal considerar que la resistència a la deformació del nucli és tan petita respecte a la de les cares que es deprecia a influència de les tensions normals longitudinals en el nucli.

Per tant, la resistència portant d'un panell es divideix en dos components:

- Per moments flectors
Es divideix en un component M_F a les cares metàl·liques i un component M_S al nucli.
- Per forces tallants
Es divideix en un component de força tallant V_F a les cares i un V_S al nucli.

En panells amb cares planes o lleugerament perfilades, la resistència a flexió de les cares (B_{F1} i B_{F2}) és tan petita respecte a les distribucions i les deformacions de la tensió en el panell, que en els càlculs corresponents es deprecia.

B.6.4 Tensions de flexió

Les tensions a flexió es determinen mitjançant les equacions:

$$\sigma_{F1} = -\frac{N_{F1}}{A_{F1}} = -\frac{M_S}{e \cdot A_{F1}} \quad \text{Eq. 63}$$

$$\sigma_{F2} = -\frac{N_{F2}}{A_{F2}} = -\frac{M_S}{e \cdot A_{F2}} \quad \text{Eq. 64}$$

$$\sigma_{F11} = \sigma_{F1} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{11} \quad \text{Eq. 65}$$

$$\sigma_{F21} = \sigma_{F1} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{12} \quad \text{Eq. 66}$$

$$\sigma_{F21} = \sigma_{F2} - \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{21} \quad \text{Eq. 67}$$

$$\sigma_{F22} = \sigma_{F2} - \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{22} \quad \text{Eq. 68}$$

On,

A_{F1}, A_{F2} : àrees de les seccions transversals de les cares.

I_{F1}, I_{F2} : moments segons de les àrees de les cares

La resta de símbols es defineixen en els apartats B.1 i B.6.

B.6.5 Tensions tallants

Les tensions tallants al nucli i a les cares superior i inferior, s'han de determinar mitjançant les equacions següents, respectivament:

$$\tau_C = \frac{V_S}{e \cdot B} \quad \text{Eq. 69}$$

$$\tau_{F1} = \frac{V_{F1}}{n_1 \cdot s_{w1} \cdot t_1} \quad \text{Eq. 70}$$

$$\tau_{F2} = \frac{V_{F2}}{n_2 \cdot s_{w2} \cdot t_2} \quad \text{Eq. 71}$$

On,

s_{w1}, s_{w2} : longituds dels nervis de les cares perfilades.

n_1, n_2 : número de nervis de les cares perfilades.

B.6.6 Reaccions als suports

Les reaccions en els suports interns i externs s'han de determinar per assaig o per anàlisi segons l'apartat B.6.7.

B.6.7 Sistema estàtic, geometria i espessor.

El sistema estàtic utilitzat pel càlcul de panells sàndwich ha d'estar d'acord amb el número i ubicació dels suports en l'aplicació real per a càrregues de pressió i succió. Les longituds de cada tram es determinen com les distàncies entre eixos dels suports.

Se suposa que els panells poden rotar i moure's axialment sobre els suports sense restriccions, per tant es parla de suports "simples".

Les dimensions utilitzades en els càlculs han de correspondre's amb les dimensions reals del panell sàndwich en qüestió. En cas d'utilitzar dimensions nominals en els càlculs, les reals han de coincidir amb les dimensions utilitzades en els càlculs dins les toleràncies descrites a l'apartat 5.2.5 de la norma.

B.6.8 Panells sàndwich amb cares planes o lleugerament perfilades

En panells amb cares planes o lleugerament perfilades, la resistència a la flexió de les cares s'ha de depreciar en comparació amb la resistència a flexió de la secció transversal del panell. No s'ha de realitzar cap divisió de la tensió resultant en corresponents components.

B.6.8.1 Panells d'un sol tram

El comportament elàstic d'aquest tipus de panell d'un sol tram, provocat per una càrrega distribuïda uniformement i una diferència de temperatura, ve descrit per les equacions incloses a la taula B.4.

B.6.8.2 Panells continus de trams múltiples

De la mateixa manera que en el cas anterior, el comportament elàstic d'aquest tipus de panells en continu, provocat per una càrrega distribuïda uniformement i una diferència de temperatura, ve descrit per les equacions incloses a la taula B.4.

B.6.9 Panells sàndwich amb cares fortament perfilades

Tot i proporcionar solucions explícites per uns determinats casos, generalment pel seu càlcul s'han d'utilitzar mètodes d'anàlisi numèrics (p.e. el mètode d'elements finits).

B.6.9.1 Panells d'un sol tram

El comportament elàstic d'aquest tipus de panell d'un sol tram, provocat per una càrrega distribuïda uniformement o una diferència de temperatura, ve descrit per les equacions incloses a la taula B.5.

B.6.9.2 Panells continus de trams múltiples

Els panells amb cares perfilades suportats per múltiples trams, s'han de dissenyar per càlculs específics que no estan descrits en la norma EN-UNE 14509, o bé per mitjà d'assajos.

Taula B.4 Equacions de càlcul per panells amb cares planes o lleugerament perfilades en un, dos i tres trams.

	Tallant en el suport extrem	Tallant en el suport intern	Reacció en el suport intermedi	Moment flector del tram (de l'extrem)	Moment flector en el suport intern	Màxima deformació en el tram
Tram únic de L Càrrega uniforme q	$\frac{q \cdot L}{2}$			$\frac{q \cdot L^2}{8}$		$\frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_s} (1 + 3,2k)$
Diferència de temperatura T_1 - T_2						$\frac{\theta \cdot L^2}{8}$
Dos trams iguals de L Càrrega uniforme q	$\frac{q \cdot L}{2} \left(1 - \frac{1}{4(1+k)}\right)$	$\frac{q \cdot L}{2} \left(1 + \frac{1}{4(1+k)}\right)$	$q \cdot L \left(1 + \frac{1}{4(1+k)}\right)$	$\frac{q \cdot L^2}{8} \left(1 - \frac{1}{4(1+k)}\right)$	$-\frac{q \cdot L^2}{8} \left(\frac{1}{(1+k)}\right)$	$\frac{q \cdot L^4}{48 \cdot B_s} \left(\frac{0,26 + 2,6k + 2k^2}{1+k}\right)$
Diferència de temperatura T_1 - T_2	$-\frac{3 \cdot B_s \cdot \theta}{2 \cdot L} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\frac{3 \cdot B_s \cdot \theta}{2 \cdot L} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\frac{3 \cdot B_s \cdot \theta}{L} \cdot \frac{1}{1+k}$	$-\frac{3 \cdot B_s \cdot \theta}{4} \cdot \frac{1}{1+k}$	$-\frac{3 \cdot B_s \cdot \theta}{2} \cdot \frac{1}{1+k}$	$-\frac{\theta \cdot L^2}{32} \cdot \frac{1,1 + 4k}{1+k}$
Tres trams iguals de L Càrrega uniforme q	$\frac{q \cdot L}{2} \left(1 - \frac{1}{(5+2k)}\right)$	$\frac{q \cdot L}{2} \left(1 + \frac{1}{(5+2k)}\right)$	$q \cdot L \left(1 + \frac{1}{2(5+2k)}\right)$	$\frac{q \cdot L^2}{8} \left(1 - \frac{1}{(5+2k)}\right)$	$-\frac{q \cdot L^2}{10 + 4k}$	$\frac{q \cdot L^4}{24 \cdot B_s} \left(\frac{0,83 + 5,6k + 2k^2}{5+2k}\right)$
Diferència de temperatura T_1 - T_2	$-\frac{6 \cdot B_s \cdot \theta}{L} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$\frac{6 \cdot B_s \cdot \theta}{L} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$\frac{6 \cdot B_s \cdot \theta}{L} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$-3 \cdot B_s \cdot \theta \cdot \frac{1}{5+2k}$	$-6 \cdot B_s \cdot \theta \cdot \frac{1}{5+2k}$	$-\frac{\theta \cdot L^2}{4} \cdot \frac{1,06 + 4k}{5+2}$

On, la rigidesa a flexió ve determinada per la següent expressió:

$$B_S = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2} \cdot e^2}{(E_{F1} \cdot A_{F1} + E_{F2} \cdot A_{F2}) \cdot B} \quad \text{Eq. 72}$$

On,

E_{F1} : mòdul elàstic de la cara superior.

E_{F2} : mòdul elàstic de la cara inferior.

A_{F1} : àrea transversal de la cara superior de panell.

A_{F2} : àrea transversal de la cara inferior del panell.

e : espessor del panell.

B : amplada del panell.

I el factor corrector de la deformació per influència del tallant, es calcula mitjançant l'equació descrita a continuació:

$$k = \frac{3 \cdot B_s}{L^2 \cdot G_C \cdot A_C} \quad \text{Eq. 73}$$

On,

G_c : mòdul a tallant del nucli

A_c : àrea transversal del nucli

$$A_c = B \cdot e \quad \text{Eq. 74}$$

Taula B.5 Equacions de càlcul per panells amb una cara perfilada i l'altra plana o lleugerament plana en un, dos i tres trams.

	Tallant en el suport extrem	Tallant en el suport intern	Moment flector de la cara en el tram M_{F1}	Moment flector sàndwich en el tram M_S	Màxima deformació en el tram
<u>Tram únic de L</u> Càrrega uniforme q	$\frac{q \cdot L}{2}$		$\frac{q \cdot L^2}{8} \beta$	$\frac{q \cdot L^2}{8} (1 - \beta)$	$\frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot B_s} (1 + 3,2k)(1 - \beta)$
Diferència de temperatura T_1-T_2	0		$-B_{F1} \theta (1 - \beta)$	$B_{F1} \theta (1 - \beta)$	$\frac{\theta \cdot L^2}{8} (1 - \beta)$

Pel que fa a la constant de rigidesa de la cara superior respecte al panell, el seu càlcul és diferent segons es calculi per a una càrrega uniforme o per a una diferència de temperatures:

Per a la càrrega uniforme:

$$\beta = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1+3,2k}} \quad \text{Eq. 75}$$

Per a la diferència de temperatures:

$$\beta = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1+2,67k}} \quad \text{Eq. 76}$$

On,

B_{F1} : rigidesa a flexió de la cara superior.

C PANELLS HUURRE

El present annex descriu amb detall els diferents panells Huurre que cal analitzar en el projecte. Aquesta informació serà necessària al bloc 1, corresponent a la geometria dels panells, al bloc 2 referent al material, i al bloc 5 de resultats, ja que els càlculs són diferents en funció de les característiques dels panells.

La mateixa empresa Huurre Iberica va decidir reestablir els nous valors de les característiques tècniques únicament als productes més freqüents en vendes.

Per tant, en aquest projecte només es treballen tres tipus de panells: HI-PIR/PUR CT, HI-PIR/PUR F i HI-PIR/PUR ST. Tot seguit es descriuen els trets principals de cadascun d'ells:

C.1 Panell HI-PIR CT / HI-PUR CT

C.1.1 Generalitats

El panell HI-PIR/PUR CT fabricat a HUURRE IBERICA, representat a la figura C.1, configura un sistema de tancament lleuger per a cobertes, format per una cara d'acer amb nervis alts a l'exterior, un nucli aïllant d'escuma de poliuretà (PUR) o poliisocianurat (PIR) i una cara d'acer amb nervis plana a l'interior.

Aquest panell està dissenyat per col·locar-se en el sentit del pendent, tancant tot el faldó. En cas de ser necessari unir longitudinalment els panells, el seu solapament en la cara exterior haurà de ser com a mínim de 200mm.

La junta longitudinal ve donada per un encaix encadellat i un perfil de tapajunts que en garanteix l'estanquitat i dissimula les fixacions.



Figura C.1 Panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).

C.1.2 Característiques tècniques

La taula C.1 descriu les característiques tècniques principals d'aquest tipus de panell.

Taula C.1 Característiques tècniques del panell HI-PIR/PUR CT (Font: Catàleg general Huurre Iberica).

Característiques	Valors						Toleràncies
Longitud	De 13,5 a 16m transport especial						L ± 10mm
Amplada útil	1150mm						L ± 2mm
Espessor nominal	30-40-50-60-80-100*-120 (*sota consulta)						± 2mm
Densitat nominal	40 Kg/m ³						± 5 Kg/m ³
Conductivitat tèrmica	0,020 W/mK						
Conductivitat tèrmica declarada (espuma envellida)	0,022 W/mK						
Transmitància tèrmica (U) W/m ² K (PIR)	30 0,71	40 0,54	50 0,44	60 0,36	80 0,28	120 0,19	
Reacció al foc	PIRM classe1 (*) Bs 1 d0		PIR Bs 1 d0		PUR Bs 2 d0		
Foc en cobertes	B roof		B roof		B roof		

C.1.3 Fixacions i accessoris

Des del punt de vista de les fixacions dels panells, aquestes variaran en funció del tipus d'estructura.

- Cargol autoperforant de 5,5mm de diàmetre, per fixacions en acer laminat en fred (de com a màxim 4mm d'espessor) equipat amb anella estanca.
- Cargol autoroscant, per fusta/formigó d'espessor 6,3mm equipat amb anella estanca. També vàlid per fixar en el formigó si prèviament es realitza un perforat de 5,5mm sense taco.
- Cargol autoroscant de diàmetre 6,5mm.

C.2 Panell HI-PIR ST / HI-PUR ST

C.2.1 Generalitats

El panell HI-PI/PUR ST farbitat a HUURRE IBERICA, configura un sistema de tancament lleuger per a façanes arquitectòniques. En aquest cas, el panell ofereix quatre varietats pel que fa a les cares exteriors:

- HI-PIR/PUR ST STANDARD (figura C.2).
- HI- PIR/PUR ST SEMILLIS (figura C.3).
- HI- PIR/PUR ST MICROPERFILAT (figura C.4).

- HI- PIR/PUR ST LLIS (figura C.5).

Tots ells, com la resta de panells tenen un nucli aïllant d'escuma de poliuretà (PUR) o poliisocianurat (PIR).

El panell està dissenyat per utilitzar-se indiferentment en muntatge vertical o horitzontal.

Pel que fa a la junta longitudinal queda resolta mitjançant un encaix encadellat que oculta el cap del cargol.



Figura C.2 Panell HI-PIR/PUR Standard (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura C.3 Panell HI-PIR/PUR Semillis (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura C.4 Panell HI-PIR/PUR ST Microperfilat (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).



Figura C.5 Panell HI-PIR/PUR ST Llís (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).

C.2.2 Característiques tècniques

Les característiques tècniques descrites a la taula C.2 són les mateixes per a totes les variants del panell.

Cal tenir en compte que en el present projecte únicament es calculen les varietats HI-PIR/PUR ST STANDARD i HI-PIR/PUR ST LLIS.

Taula C.2 Característiques tècniques del panell HI-PIR/PUR ST (Font: Catàleg general Huurre Iberica).

Característiques	Valors	Toleràncies
Longitud	De 13,5 a 18m transport especial	L ± 10mm
Amplada útil	1150mm	L ± 2mm
Espessor nominal	30-40-50-60-80-100	± 2mm
Densitat nominal	40 Kg/m ³	± 5 Kg/m ³
Conductivitat tèrmica	0,020 W/mK	
Conductivitat tèrmica declarada (espuma envellida)	0,022 W/mK	
Transmitància tèrmica (U) W/m ² K	35 40 50 60 80 100	
(PIR)	0,66 0,58 0,47 0,40 0,29 0,23	
Reacció al foc	PIRM classe1 (*)	PIR
	Bs 1 d0	Bs 1 d0
		PUR
		Bs 2 d0

C.3 Panell HI-PIR F / HI-PUR F

C.3.1 Generalitats

El panell frigorífic HI- PIR/PUR F, representat a la figura C.6, està dissenyat per construir locals agroalimentaris i frigorífics, tant d'atmosfera positiva com negativa.

Els panells estan constituïts per un nucli d'escuma de poliuretà (PIR) o poliisocianurat (PUR) injectada entre ambdós paràmetres metàl·lics, expansionada sense HCFC's i densitat nominal 40 kg/m³.

Les parets són lleugerament nerviades i les cantonades transversals són planes. En funció dels requisits de la instal·lació es pot escollir el tipus d'unió que més s'adapti al propi estil de muntatge.

Aquests panells poden utilitzar-se per als tancaments verticals i de coberta.

A més, cal tenir en compte que es diferencien dos panells HI-PIR/PUR F segons el tipus de junta que s'utilitza, descrites en els apartats C.3.1.1 i C.3.2.2 del present annex.

C.3.1.1 Junta FJ

El panell HI-F amb junta FJ està dissenyat per oferir una estanquitat amb el muntatge més senzill.

La classe d'impermeabilitat de la junta HI-FJ a l'aire és de 0.013m³/h·m² a 50Pa (sense segellar la junta).

Ofereix a classe A d'impermeabilitat a l'aigua a 1200Pa (sense segellar la junta).

C.3.1.2 Junta FS

EL panell HI-F amb junta FS està dissenyat per a l'aplicació d'un segellat d'estanquitat durant la fase de muntatge.

Cal tenir en compte que el tipus de junta utilitzada no afecta els càlculs del panell, per tant, els valors resultants dels càlculs seran vàlids pels dos tipus.

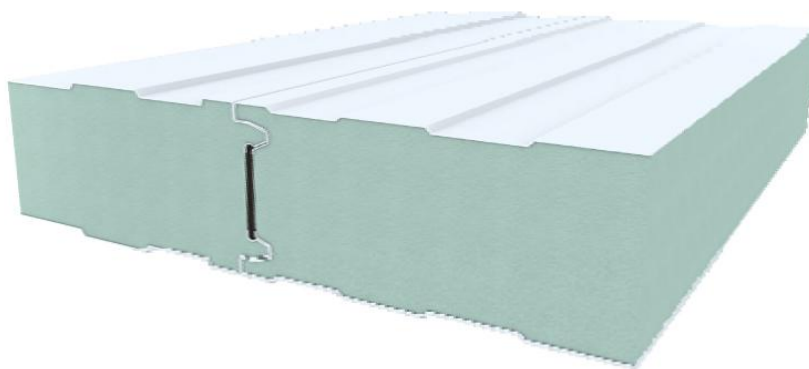


Figura C.6 Panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica S.A.).

C.3.2 Característiques tècniques

Les característiques tècniques del panell HI-PIR/PUR F es mostren a la taula C.3

Taula C.3 Característiques tècniques panell HI-PIR/PUR F (Font: Catàleg general Huurre Iberica).

Característiques	Valors							Toleràncies
Longitud	De 13,5 a 18m transport especial							$L \pm 10\text{mm}$
Amplada útil	1150mm – 1120mm							$L \pm 2\text{mm}$
Espessor nominal	60-80-100-125-150-175-200							$\pm 2\text{mm}$
Densitat nominal	40 Kg/m ³							$\pm 5 \text{ Kg/m}^3$
Conductivitat tèrmica	0,020 W/mK							
Conductivitat tèrmica declarada (espuma envellida)	0,022 W/mK							
Transmitància tèrmica (U) W/m ² K	60	80	100	125	150	175	200	
(PIR)	0,35	0,27	0,22	0,17	0,14	0,12	0,11	
Reacció al foc	PIRM classe1 (*)		PIR		PUR			
	Bs 1 d0		Bs 1 d0		Bs 2 d0			

C.3.3 Fixacions

La fixació es realitza mitjançant una barra roscada d'acer galvanitzat Z275, diàmetre 10mm cargolada en una rosca de diàmetre 10mm d'acer galvanitzat insertada en un con de PVC de

diàmetre 88mm. Cal realitzar al panell un orifici de 12mm de diàmetre per a limitar els ponts tèrmics.

La implantació de la fixació es realitza com a mínim a 100mm de la extremitat del panell.

Si són necessàries les fixacions del panell a l'estructura, es realitza mitjançant una barra roscada mètrica-10 que travessa el panell. En el costat interior de la càmera, es finalitza amb un acabament de PVC que evita el pont tèrmic. En el costat exterior es fixa amb una rosca.

D ASSAJOS DELS PANELLS HUURRE

En el present annex es determinen les característiques tècniques i mecàniques dels panells HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR ST i HI-PIR/PUR CT.

Aquests panells presenten diferents característiques geomètriques a les cares, que cal tenir en compte en el assajos:

- Els panells del tipus HI-PIR/PUR CT tenen una cara lleugerament perfilada i l'altra perfilada.
- Els panells de tipus HI-PIR/PUR F porten una protecció plàstica sobre una de les cares, i sobre l'altra una de blava.
- Els panells de tipus HI-PIR/PUR ST, degut a la junta, tenen una cara lleugerament més ampla que l'altra.

Les característiques tècniques i mecàniques s'han obtingut a partir dels resultats dels assajos de caracterització de panells de cobertura metàl·lica realitzats segons la norma EN-UNE 14509 per l' *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja* (IET_{CC})

D.1 Descripció dels assajos

Els assajos de l' IET_{CC} s'han realitzat per separat segons tractin de les característiques tècniques o mecàniques dels panells.

Pel que fa a la part més tècnica, s' inclouen els següents assajos:

- Toleràncies dimensionals dels panells: realitzats segons l'annex D de la norma EN-UNE 14509.
- Densitat aparent de l'escuma: realitzat segons la norma EN-UNE 1602.

I pel que fa a les característiques mecàniques, els assajos realitzats són els següents:

- Resistència a la tracció de les capes de cobertura: realitzat segons la norma EN-UNE 1607.
- Resistència a compressió al 10% de deformació perpendicular a les capes de cobertura: realitzat segons la norma EN-UNE 826.
- Resistència a esforç tallant: segons els apartats A.3.5.1 i A.3.5.2 de l'annex A de la norma EN-UNE 14509.
- Assajos per a determinar la rigidesa i la capacitat del moment flector d'un panell sobre dos suports: realitzat segons l'annex A.5 de la norma EN-UNE 14509.

- Interacció entre el moment flector i la reacció del suport: realitzat segons l'annex A.7 de la norma EN-UNE 14509.

Es donarà especial atenció a les característiques mecàniques, sobretot pel que fa als assajos on es determina el moment flector.

En base a la cara on s'aplica la càrrega, es diferencien quatre tipus d'assaig per a cada tipus de panell:

- Assaig tipus 1. Assaig per determinar la capacitat del moment flector sobre dos suports aplicant la càrrega aplicada a la cara:
 - Panells HI-PIR/PUR CT, cara lleugerament perfilada.
 - Panells HI-PIR/PUR F, cara amb protecció plàstica transparent.
 - Panells HI-PIR/PUR ST, cara ampla del panell.
- Assaig tipus 2. Assaig per determinar la capacitat del moment flector sobre dos suports aplicant la càrrega aplicada a la cara:
 - Panells HI-PIR/PUR CT, cara perfilada.
 - Panells HI-PIR/PUR F, cara amb protecció plàstica blava.
 - Panells HI-PIR/PUR ST, cara estreta del panell.
- Assaig tipus 3. Assaig de suport central simulat amb la càrrega cap avall. La càrrega s'aplica a la cara:
 - Panells HI-PIR/PUR CT, cara lleugerament perfilada.
 - Panells HI-PIR/PUR F, cara amb protecció plàstica transparent.
 - Panells HI-PIR/PUR ST, cara ampla del panell.
- Assaig tipus 4. Assaig de suport central simulat amb la càrrega cal amunt. La càrrega s'aplica a la cara:
 - Panells HI-PIR/PUR CT, cara lleugerament perfilada.
 - Panells HI-PIR/PUR F, cara amb protecció plàstica transparent.
 - Panells HI-PIR/PUR ST, cara ampla del panell.

Cadascun d'aquests assajos s'han realitzat per a cada model de panell sobre el mínim espessor, el major i l'intermedi, i cada assaig s'ha repetit tres vegades sobre diferents mostres del panell.

D.2 Resultats dels assajos

Tenint en compte totes aquestes situacions, dels valors resultants s'han extret les dades necessàries dels panells HI-PIR/PUR F, HI-PIR/PUR CT i HI-PIR/PUR ST i s'han omplert les taules D.1, D.2 i D.3., mostrades a continuació.

D.2.1 Panell HI-PIR/PUR F

A la taula D.1 es representen les característiques tècniques i mecàniques, tant dels panells PIR F com dels PUR F. El nucli d'escuma de poliuretà o de poliisocianurat únicament afecta a la transmitància tèrmica. Per aquesta raó, per a cada espessor s'observen dos valors de transmitància: la primera per a nuclis PIR i la segona per a nuclis PUR.

Val a dir també que no s'utilitzen unitats del sistema internacional donat que pels càlculs es treballa en mm i MPa.

Pel que fa a les característiques tècniques, aquestes vénen representades en els cinc primers i els quatre últims apartats. De totes elles, en els càlculs només es tenen en compte l'espessor del conjunt, i el tipus de metall de les dues cares. Els espessors d'assaig són diferents per a cada panell, i en aquest cas s'han utilitzat: 60, 80, 100, 125, 150, 175 i 200mm.

D'altra banda, les característiques mecàniques estan classificades en tres apartats segons afectin al nucli, a la cara superior o a la inferior.

Aquestes, excepte el coeficient de fluència i la resistència a compressió del nucli, depenen directament de l'espessor del panell. Així, a partir d'un espessor de 175mm el seu valor disminueix.

La tensió d'arrugament, a més de dependre del nucli, també varia en funció de la continuïtat del panell: per un mateix espessor, la resistència d'un panell en continu de dos trams serà menor que els d'un sol tram.

A més, donat que els panells HI-PIR/PUR F estan dissenyats per a col·locar-se en posició vertical, la tensió d'arrugament serà existent tant en la cara exterior (on s'aplica la càrrega) com en la interior.

De la mateixa manera, l'esforç tallant a llarg termini només es té en compte en cobertes, per tant en els càlculs del panell HI-PIR/PUR F no s'utilitza aquesta resistència.

Taula D.1 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR F.

HI - PIR/PUR F									
Característica		Unitats	Valors declarats						
Tipus d'aïllament del nucli			PIR/PUR						
Densitat aïllament del nucli		Kg/m ³	40						
Espessor del conjunt		mm	60	80	100	125	150	175	200
Massa del conjunt		Kg/m ³	9,2-14,3	9,9-15,1	10,7-15,8	11,7-16,8	12,7-17,8	13,6-18,8	14,6-19,7
Material del metall de la cara externa			Acer S220GD						
Espessor de la cara de metall externa		mm	0,4-0,7						
Massa i tipus de recobrimet metàl·lic de la cara externa			Z200						
Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara externa			SP25 - PVDF35 - HDX - PET						
Material del metall de la cara interna		mm	Acer S220GD						
Espessor de la cara d metall interna			0,4-0,6						
Massa i tipus de recobrimet metàl·lic de la cara interna			Z200						
Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara interna			SP25 - PVDF35 - HDX - PET						
NUCLI	Transmitància tèrmica	U	0,35/0,38	0,27/0,29	0,22/0,23	0,17/0,18	0,14/0,15	0,12/0,13	0,11/0,12
	Resistència a tracció perpendicular a les cares del panell	Mpa	0,11				0,06		
	Resistència a esforç tallant del nucli	Mpa	0,13				0,07		
	Mòdul d'esforç tallant del nucli	Mpa	2,41				1,74		
	Coefficient de fluència		2,4						
	Resistència a compressió del nucli	Mpa	0,12						
	Resistència a esforç tallant a llarg termini	Mpa	0,07				0,04		
CARA SUPERIOR	Tensió d'arrugament a la cara externa superior	Mpa							
	En un tram		173	176	178	171	163	155	147
	En dos trams		135	146	160	155	150	144	139
	Límit elàstic	Mpa	210	210	210	210	210	210	210
CARA INFERIOR	Tensió d'arrugament a la cara interna inferior	Mpa							
	En un tram		135	141	149	144	139	134	129
	En dos trams		98	106	118	115	112	110	107
	Límit elàstic	Mpa	210	210	210	210	210	210	210
Classe de reacció al foc			B-s1,d0 / B-s2,d0						
Durabilitat			DUR-1						
Classe de permeabilitat a l'aire			0,013 m ³ /h·m ² a 50 Pa						
Classe de permeabilitat a l'aigua			Classe A (1200Pa)						

D.2.2 Panell HI-PIR/PUR ST

A la taula D.2 es representen les característiques tècniques i mecàniques, tant dels panells PIR ST com dels PUR ST. El nucli d'escuma de poliuretà o de poliisocianurat únicament afecta a la transmitància tèrmica. Per aquesta raó, per a cada espessor s'observen dos valors de transmitància: la primera per a nuclis PIR i la segona per a nuclis PUR.

De la mateixa manera que en la taula D.1, no s'utilitzen les unitats del sistema internacional sinó les unitats de treball en els càlculs, que són els mm i MPa.

Pel que fa a les característiques tècniques, aquestes vénen representades en els cinc primers i els quatre últims apartats. De totes elles, en els càlculs només es tenen en compte l'espessor del conjunt, i el tipus de metall de les dues cares. En aquest tipus de panell, els espessors d'assaig utilitzats són: 35, 40, 50, 60, 80 i 100mm.

D'altra banda, les característiques mecàniques estan classificades en tres apartats segons afectin al nucli, a la cara superior o a la inferior.

De totes les característiques mecàniques del nucli, a diferència de la taula D.1, en els panells HI-PIR/PUR ST només la resistència a tracció perpendicular a les cares depèn de l'espessor del conjunt. En aquest cas, per espessors superior a 100mm es passa de 0,11 MPa a 0,08 MPa.

Pel que fa a les cares, el comportament és similar al dels panells HI-PIR/PUR F. Així, la tensió d'arrugament depèn de l'espessor com també de la continuïtat del panell: per un mateix espessor, la resistència d'un panell en continu de dos trams serà menor que els d'un sol tram.

A més, donat que els panells HI-PIR/PUR ST també estan dissenyats per a col·locar-se en posició vertical, la tensió d'arrugament serà existent tant en la cara exterior (on s'aplica la càrrega) com en la interior.

De la mateixa manera, recordem que l'esforç tallant a llarg termini només es té en compte en cobertes, per tant en els càlculs d'aquest tipus de panell tampoc s'utilitza aquesta resistència.

Taula D.2 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR ST.

HI - PIR/PUR ST								
Característica		Unitats	Valors declarats					
Tipus d'aïllament del nucli			PIR/PUR					
Densitat aïllament del nucli		Kg/m ³	40					
Espessor del conjunt		mm	35	40	50	60	80	100
Massa del conjunt		Kg/m ³	8,1-13,2	8,3-13,4	8,7-13,8	9,1-14,2	9,9-15,0	10,7-15,8
Material del metall de la cara externa			Acer S220GD					
Espessor de la cara d metall externa		mm	0,4-0,7					
Massa i tipus de recobrimet metal·lic de la cara externa			Z200					
Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara externa			SP25 - PVDF35 - HDX - PET					
Espessor de la cara d metall interna		mm	Acer S220GD					
Massa i tipus de recobrimet metal·lic de la cara interna			0,4-0,6					
Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara interna			Z140-Z200					
Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara interna			SP25 - PVDF35 - SP ACCES -HDX					
Transmitància tèrmica		U	0,66/0,70	0,58/0,62	0,47/0,50	0,40/0,42	0,29/0,31	0,23/0,25
Resistència a tracció perpendicular a les cares del panell		Mpa	0,11					
Resistència a esforç tallant del nucli		Mpa	0,13					
Mòdul d'esforç tallant del nucli		Mpa	2,41					
Coeficient de fluència			2,4					
Resistència a compressió del nucli		Mpa	0,12					
CARA SUPERIOR	Tensió d'arrugament a la cara externa superior		Mpa					
	En un tram		176	177	180	176	167	178
	En dos trams		124	137	162	152	134	160
	Fluència		Mpa	210	210	210	210	210
CARA INFERIOR	Tensió d'arrugament a la cara interna inferior		Mpa					
	En un tram		145	132	107	110	118	149
	En dos trams		70	73	80	84	93	118
	Fluència		Mpa	210	210	210	210	210
Classe de reacció al foc			B-s1,d0 / B-s2,d0					
Durabilitat			DUR-1					
Classe de permeabilitat a l'aigua			Classe A (1200Pa)					

D.2.3 Panell HI-PIR/PUR CT

La taula D.3 mostra les característiques tècniques i mecàniques dels panells PIR i PUR ST. Seguint la mateixa estructura de les taules anteriors, el nucli d'escuma de poliuretà o de poliisocianurat únicament afecta a la transmitància tèrmica. Per aquesta raó, per a cada espessor s'observen dos valors de transmitància: la primera per a nuclis PIR i la segona per a nuclis PUR.

De la mateixa manera que en la resta, els valors no es representen en unitats del sistema internacional sinó en les unitats de càlcul del projecte, que són els mm i MPa.

Novament, les característiques tècniques vénen representades en els cinc primers i els tres últims apartats. De totes elles, en els càlculs només es tenen en compte el tipus de metall de les cares, i l'espessor del conjunt, que en aquest cas pels assajos s'han utilitzat els següents valors: 30, 40, 50, 60, 80 i 100mm.

Les característiques mecàniques estan classificades en tres apartats segons afectin al nucli, a la cara superior o a la cara inferior.

Pel que fa a les del nucli, en els panells HI-PIR/PUR CT cap de les resistències depenen de l'espessor del nucli.

I pel que fa a les cares, el límit elàstic segueix existint per les dues cares, mentre que la tensió d'arrugament únicament es té en compte la de la cara superior. Això és així pel fet que els panells HI-PIR/PUR CT són panells de coberta, i per tant, la cara inferior no patirà mai arrugament.

En la cara superior, com en la resta de casos, la tensió d'arrugament depèn de l'espessor com també de la continuïtat del panell: per un mateix espessor, la resistència d'un panell en continu de dos trams serà menor que els d'un sol tram.

Donat que es tracta d'un panell per a col·locar en cobertes, aquí sí que es té en compte l'esforç tallant a llarg termini pels càlculs.

Taula D.3 Característiques tècniques i mecàniques del panell HI-PIR/PUR CT.

HI - PIR/PUR CT								
CARA SUPERIOR NUCLI	Característica	Unitats	Valors declarats					
	Tipus d'aïllament del nucli		PIR/PUR					
	Densitat aïllament del nucli	Kg/m ³	40					
	Espessor del conjunt	mm	30	40	50	60	80	100
	Massa del conjunt	Kg/m ³	8,1-13,2	8,5-13,6	8,9-14,0	9,3-14,4	10,1-15,2	11,7-16,7
	Material del metall de la cara externa		Acer S220GD					
	Espessor de la cara d metall externa	mm	0,4-0,7					
	Massa i tipus de recobrimet metal·lic de la cara externa		Z200					
	Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara externa		SP25 - PVDF35 / SP25					
	Espessor de la cara d metall interna	mm	Acer S220GD					
	Massa i tipus de recobrimet metal·lic de la cara interna		0,4-0,6					
	Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara interna		Z140-Z200					
	Espessor i tipus de recobrimet orgànic de la cara interna		SP25 - PVDF35 - SP ACCES - HDX					
	Transmitància tèrmica	U	0,71/0,75	0,54/0,57	0,44/0,46	0,36/0,39	0,28/0,29	0,19/0,20
	Resistència a tracció perpendicular a les cares del panell	Mpa	0,11					
	Resistència a esforç tallant del nucli	Mpa	0,13					
	Mòdul d'esforç tallant del nucli	Mpa	2,41					
	Coeficient de fluència		2,4					
	Resistència a compressió del nucli	Mpa	0,12					
	Resistència a esforç tallant a llarg termini	Mpa	0,07					
	Tensió d'arrugament a la cara superior	Mpa						
	En un tram		111	115	119	119	117	115
	En dos trams		108	104	99	99	97	93
	Límit elàstic	Mpa	210	210	210	210	210	210
	Classe de reacció al foc		B-s1,d0 / B-s2,d0					
	Comportament al foc extern-cobertes		B _{roof} (t1)					
	Durabilitat		DUR-1					

E PRESSUPOST

Per a la valoració econòmica del present projecte, es tenen en compte els següents costos :

- Mà d'obra: aquests inclouen l'adquisició de la documentació com també el seu anàlisi, la implementació de la metodologia de càlcul, i per últim, l'estudi dels resultats.
- Amortitzacions: pel que fa a les amortitzacions, aquests costos representen el material informàtic utilitzat (*hardware* i *software*). Tenint en compte la vida de la maquinària i els programes, la seva amortització és aproximadament d'un 5 %.
- Redacció del projecte: aquests costos fan referència a la redacció del propi document.

Tot ells s'inclouen a la taula de costos representada a la taula E.1.

Taula E.1 Costos de realització del projecte.

CONCEPTE	UNTATS		PREU UNITARI		AMORTITZACIÓ	COST
Mà d'obra						
Adquisició i anàlisi de la documentació	40	hora	0	€/hora		0,00 €
Implementació metodologia de càlcul	40	hora	0	€/hora		0,00 €
Estudi de resultats	15	hora	0	€/hora		0,00 €
Subtotal						0,00 €
Amortització						
Maquinari informàtic	1	unit.	1500	€	5%	75,00 €
Programes informàtics	1	unit.	1000	€	5%	500,00 €
Subtotal						125,00 €
Redacció del projecte						
Redacció del document	20	hora	10	€/hora		200,00 €
Subtotal						200,00 €
Subtotal						325,00 €
Costos indirectes (15%)						48,75 €
Cost execució material sense IVA						373,75 €
IVA (21%)						78,49 €
Cost execució material						452,24 €

Per tant, la realització del projecte té un cost total de QUATRE-CENTS CINQUANTA-DOS AMB VINT-I-QUATRE CÈNTIMS (452.24€).

Marta Gascons i Pagès

Girona, 20 de febrer de 2015.