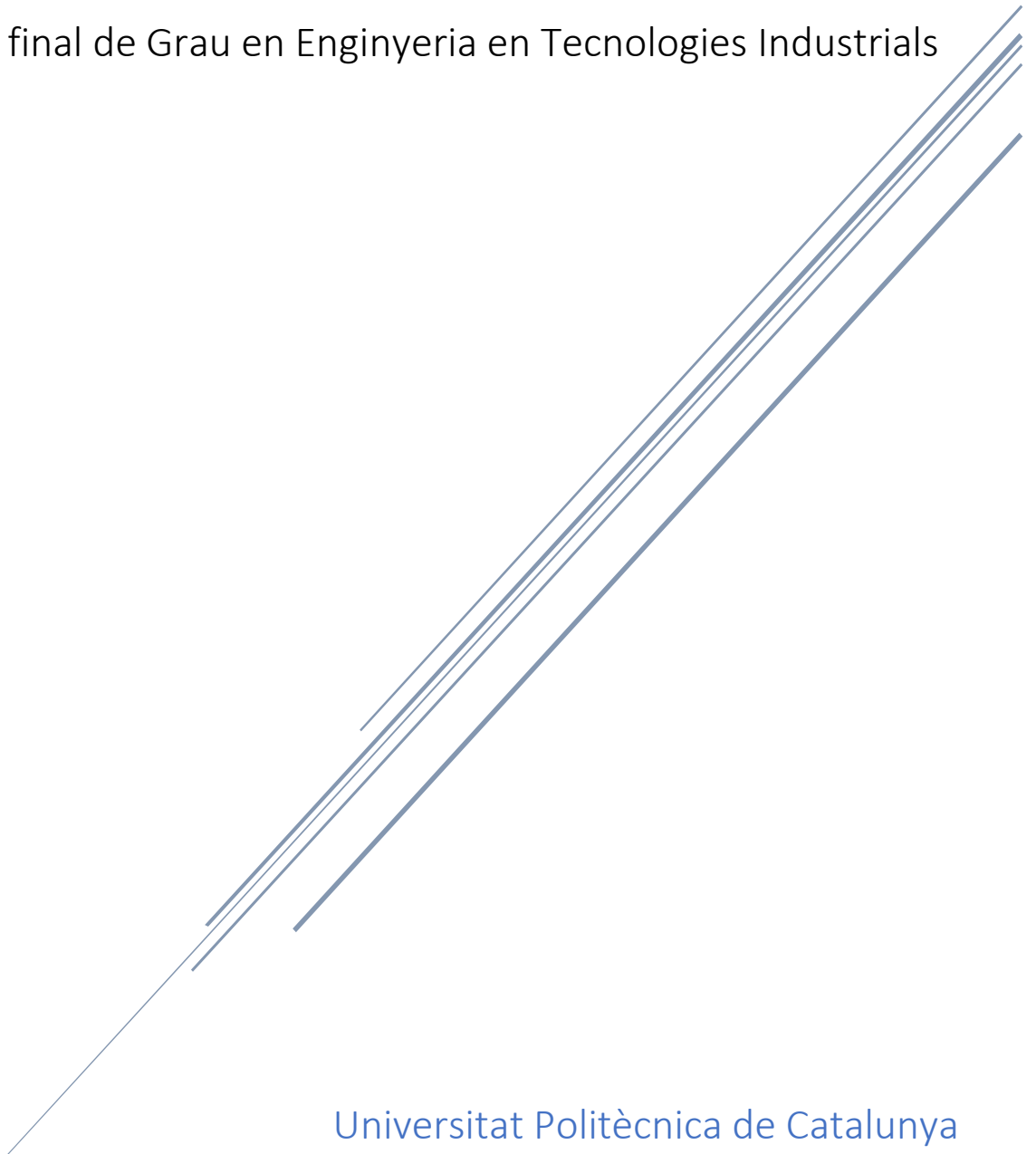


Estudi pel disseny i anàlisi estructural d'una coberta pel local d'assaig dels Minyons de Terrassa

Treball final de Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials



Universitat Politècnica de Catalunya

ESEIAAT

Pau Figueras Duch | Octubre del 2017

ÍNDEX DE CONTINGUTS

1.	Introducció.....	1
2.	Estat de l'art.....	1
3.	Objectius.....	2
4.	Recerca d'informació i estructures similars.....	3
4.1.	Cobertes tèxtils.....	3
4.2.	Cobertes retràctils planes inclinades.....	5
4.3.	Sistemes de recintes rodants.....	5
5.	Disseny i Anàlisi de la Coberta.....	6
5.1.	Espai a cobrir.....	7
5.2.	Disseny preliminar de la coberta.....	8
6.	Dimensionament de l'estructura.....	10
6.1.	Estat de càrregues.....	10
6.2.	Disseny i dimensionament de la superfície de la coberta.....	12
6.3.	Dimensionament de les corretges.....	14
6.4.	Dimensionament del pòrtic.....	16
6.5.	Dimensionament de l'estructura inferior.....	18
6.5.1.	Dimensionament de la biga.....	18
6.5.2.	Dimensionament del pilar.....	20
7.	Ecoeficiència i impacte mediambiental.....	22
8.	Valoració econòmica.....	23
8.1.	Cost dels materials.....	23
8.2.	Cost de la mà d'obra.....	23
8.3.	Cost total de l'execució de la coberta.....	24
9.	Conclusions.....	25
10.	Bibliografia.....	26

ÍNDEX D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1. Pati del local.....	1
Il·lustració 2. Situació en el mapa	1
Il·lustració 3. Estadi de Wimbledon	3
Il·lustració 4. Coberta de la seu de Hypo Bank	4
Il·lustració 5. Fengstungsarena	4
Il·lustració 6. Exemple de coberta plana	5
Il·lustració 7. Imatge d'un sistema rodant sobre una piscina	5

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Comparativa de prioritats	6
Taula 2. Sobrecàrregues de l'estructura	11
Taula 3. Estat de càrregues més desfavorable	12
Taula 4. Estats de càrregues generalitzats	12
Taula 5. Taula de característiques d'INCOPERFIL	13
Taula 6. Resposta dels perfils davant esforços	14
Taula 7. Estats de càrregues i reaccions al perfil escollit	15
Taula 8. Estats de càrrega del pòrtic	16
Taula 9. Resultats del programa MEFI	16
Taula 10. Estat de càrrega del perfil escollit	17
Taula 11. Resultats del MEFI	19
Taula 12. Comportament resultant del MEFI	21
Taula 13. Relació dels costos dels materials	23
Taula 14. Relació del cost de la mà d'obra	23
Taula 15. Pressupost final.....	24

ÍNDEX DE GRÀFICS

Gràfic 1. Vista en perfil del pati.....	7
Gràfic 2. Vista en planta del pati.....	7
Gràfic 3. Estructura en perfil dels pilars	8
Gràfic 4. Vista d'alçat dels pòrtics.....	9
Gràfic 5. Vista zenital dels pòrtics.....	9
Gràfic 6. Coeficients per sobrecàrrega de vent	10
Gràfic 7. Distribució de les corretges	14
Gràfic 8. Sobrecàrrega màxima.....	14
Gràfic 9. Diagrama d'esforços del pòrtic.....	16
Gràfic 10. Delimitació de la biga del pòrtic i l'espai que ocupa.....	18
Gràfic 11. Situació de major càrrega de la biga	19
Gràfic 12. Sobrecàrregues quan el pòrtic està desplegat.....	19
Gràfic 13. Configuració final.....	20
Gràfic 14. Diagrama d'esforços del pilar	21

1. INTRODUCCIÓ

Actualment, la Colla Castellera dels Minyons de Terrassa assaja al pati interior del seu local (ubicat al Carrer Teatre, 4-6). El fet de que no estigui a aixopluc provoca que els dies de pluja s'hagin de desplaçar a la plaça Vapor Ventalló per assajar les seves estructures sota la coberta d'una antiga fàbrica. Aquest fet provoca una pèrdua de temps d'assaig i un lloc tan obert com és la plaça Vapor Ventalló afavoreix la dispersió dels castellers, fets que dificulten l'assaig. Amb la construcció d'una coberta retràctil pel pati interior del seu local, aquest desplaçament ja no seria necessari i s'evitarien totes aquestes molèsties.



Il·lustració 1. Pati del local

2. ESTAT DE L'ART

Es disposa d'un pati interior amb una amplada de 14,71m i una llargada de 8,72m amb dos balcons a banda i banda, un amb una llargada de 2,81m i un altre amb una llargada de 2,38m.

El local, situat al Carrer Teatre 4-6, al centre de Terrassa, no només és local d'assaig si no que també actua com a seu social de la colla castellera.

El tipus de coberta retràctil més sovintejat a la zona de Terrassa per a espais d'una mida similar al que ens ocupa és una coberta plana amb panells translúcids que es mouen per unes guies. En estructures recintes majors es poden trobar recintes rodants amb coberta corba que permeten una major alçada sota la coberta.



Il·lustració 2. Situació en el mapa

3. OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és realitzar el disseny i anàlisi estructural de la coberta prevista a ser executada en aquest local. Dita coberta garantirà l'estabilitat, resistència, durabilitat i aptitud al servei que requereixen aquests tipus d'estructures.

L'abast d'aquest treball consisteix en 3 punts:

- Disseny arquitectònic així com la seva integració en l'espai.
- Desenvolupament numèric i dimensional de l'estructura necessària per la seva sustentació.
- Descripció dels elements constructius de tancament i descripció dels materials.

Aquest projecte no tracta els següents aspectes:

- Disseny del sistema de moviment de la coberta (guies, cables, motors, recolzaments, etc.)
- Aspectes de legislació urbanística sobre la possibilitat real de construir el projecte.
- Disseny dels fonaments que ancoren l'estructura al sòl. Tot i que sí es tracta el tractament de residus derivats de l'execució d'uns fonaments.

4. RECERCA D'INFORMACIÓ I ESTRUCTURES SIMILARS

Per tal d'encarar el projecte i poder desenvolupar un disseny de coberta d'acord amb les tecnologies i tipologies existents, s'ha realitzat una recerca (estat de l'art) dels tipus de cobertes existents. Aquestes varien en funció dels materials i el tipus d'estructura que sustenta la coberta.

4.1. Cobertes tèxtils

A la recerca de cobertes tèxtils, un dels teixits que s'ha trobat és el fabricat per l'empresa Sefar®, multinacional amb seu europea a Suïssa. Es tracta d'un teixit fotomètric PTFE per aplicació exterior que resisteix alts valors de tensions. Sefar proveeix aquests teixits amb alt i baix pes i diverses obertures de malla.

La membrana Sefar® Architecture Tenara® està fabricada amb teixit de PTFE expandit, recobert exclusivament amb un fluoropolímer flexible, sent soldable, repel·lent de la brutícia i resistent a l'aigua i als rajos UV. Al contrari que altres membranes de fibra de vidre-PTFE o PES-PVC, pot replegar-se reiterades vegades, sense perdre resistència o fisurar-se, el que la converteix en especialment apropiada per a cobertes tèxtils retràctils. Existeixen dos models en funció de la seva transmissió lluminosa: 4T20HF, amb una transmissió del 19%, i 4THF, del 38%. Ambdues pesen 1080 g/m² i presenten una resistència (ordit|trama) de 4000|4000 N/50mm a tracció i de 798|798 N davant l'estripat. Es fabrica en amples de 1,575m, espessor de 0,55mm i color estàndard blanc. Classificació de reacció al foc: B-si,d0.

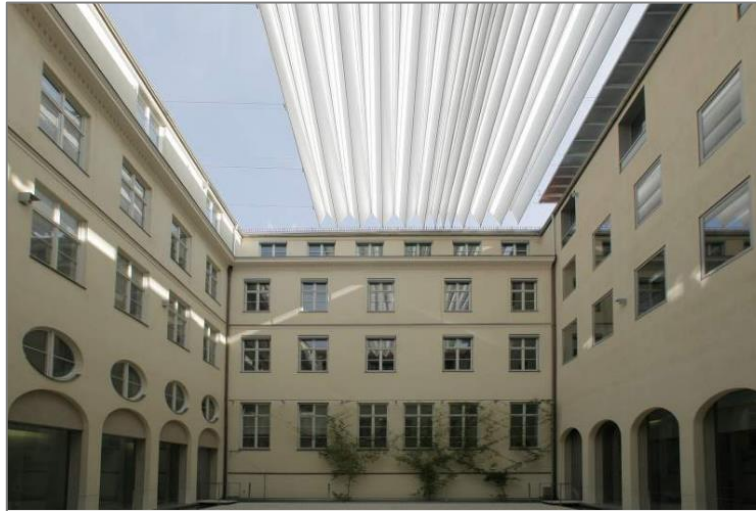
A continuació se'n descriuen alguns exemples:

Estadi de Wimbledon: el teixit es va unir mitjançant soldadura d'alta freqüència i compta amb deu armadures d'acer. Les rodes es mouen per les guies per obrir i tancar el sostre, ajudats per una sèrie de preses hidràuliques. El sostre conté aproximadament 5200 metres quadrats de tela i la llum entre recolzaments és de més de 16 metres.



Il·lustració 3. Estadi de Wimbledon

Coberta de la seu del Hypo Bank: ubicada a Munic es tracta d'una coberta tèxtil retràctil al pati de la seu del Hypo Bank, dissenyada pels arquitectes Guido Canali i Gilberto Botti.



Il·lustració 4. Coberta de la seu de Hypo Bank

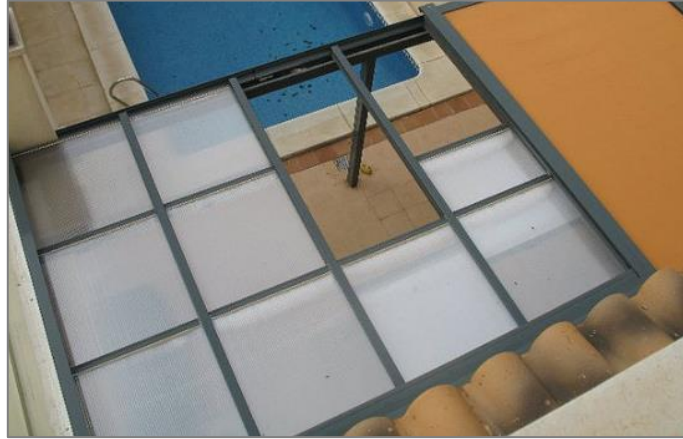
Fengstungsarena (Kufstein): es tracta d'una membrana blanca i translúcida que es pot desplegar o replegar en 4 minuts per protegir l'àrea de les inclemències del temps. Fet que garanteix l'ús de l'espai exterior i evita la cancel·lació d'esdeveniments.



Il·lustració 5. Fengstungsarena

4.2. Cobertes retràctils planes inclinades

Es tracta de sostres fixes i retràctils, normalment de policarbonat (menor cost). Ofereixen una obertura de fins al 80%, deixen passar la llum, es poden motoritzar o obrir i tancar manualment, resistent a impactes, baixa conducció tèrmica, flexible i lleuger.



Il·lustració 6. Exemple de coberta plana

4.3. Sistemes de recintes rodants

Aquest tipus de sistemes són un mètode assequible i senzill per tancar completament un espai (sovint piscines), mantenint-lo calent i utilitzable en els freds hiverns. Es tracta d'una estructura completa que es mou per uns rails per tal d'obrir-se i tancar-se.



Il·lustració 7. Imatge d'un sistema rodant sobre una piscina

5. DISSENY I ANÀLISI DE LA COBERTA

Els aspectes més importants a tenir en compte a l'hora de dissenyar la coberta per al pati interior del local dels Minyons de Terrassa són els següents:

1. **Màxim resguard de la pluja.** La raó de ser principal d'aquesta coberta és permetre assajar al local els dies amb inclemències meteorològiques.
2. **Màxima alçada central.** Per tal de realitzar les proves dels castells es necessita tanta alçada com sigui possible. Per al tipus d'estructures que porten a terme els Minyons de Terrassa es necessita una alçada mínima aproximada de 10 metres.
3. **Mínim pressupost.** Cal tenir en compte que els Minyons de Terrassa són una entitat de cultura popular sense ànim de lucre, per tant, el pressupost s'ha d'ajustar al màxim per tal que sigui possible la implementació de la coberta. Així mateix, aquest paràmetre no eximeix del compliment, tant des d'un punt de vista formal com tècnic, que requereixen aquest tipus d'estructures.

Si tenim en compte aquests tres factors, podem discernir quin tipus de coberta és el més adient per al cas que ens ocupa mitjançant el mètode del *Valor Tècnic Ponderat*.

Taula 1. Comparativa de prioritats

Factors	Pes (g)	Tèxtil		Plana Inclorada		Recinte Rodant	
		Qualificació (p)	pxg	Qualificació (p)	pxg	Qualificació (p)	pxg
Resguard pluja	7	10	70	7	49	9	63
Alçada	8	10	80	6	48	10	80
Cost	10	1	10	10	100	7	70
Suma (p x g)	23		160		197		213
VTP=		0,640		0,788		0,852	

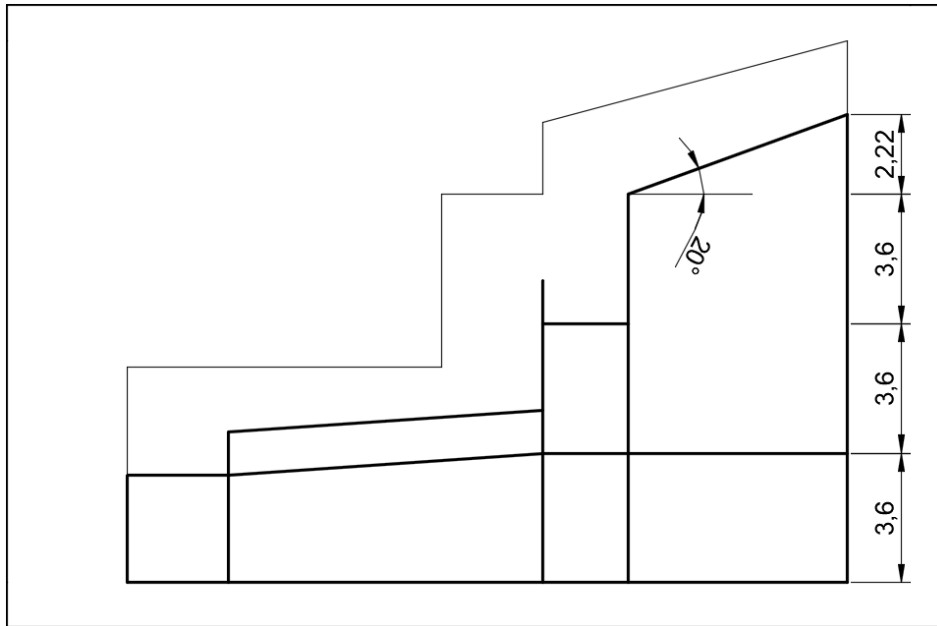
Tenint en compte l'anàlisi del Valor Tècnic Ponderat, utilitzarem un recinte rodat amb coberta corbada per tal de maximitzar l'alçada central de la coberta i garantir al màxim la impermeabilitat de l'espai d'assaig.

Aquesta estructura estarà formada per dos blocs:

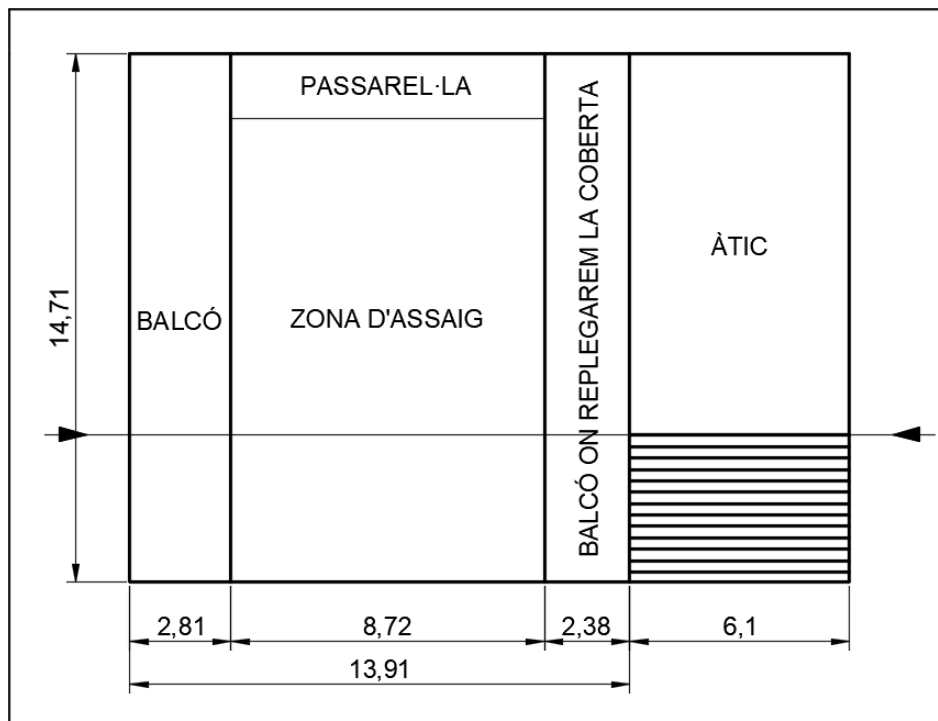
- Conjunts de 2 pòrtics connectats per corretges i coberts pel material de coberta pertinent.
- Una estructura inferior que suportarà els pòrtics i les guies que permetran el seu desplegament per tal de cobrir l'espai.

5.1. Espai a cobrir

A continuació s'indica un esquema de la planta del local i el tall de secció corresponent:



Gràfic 1. Vista en perfil del pati

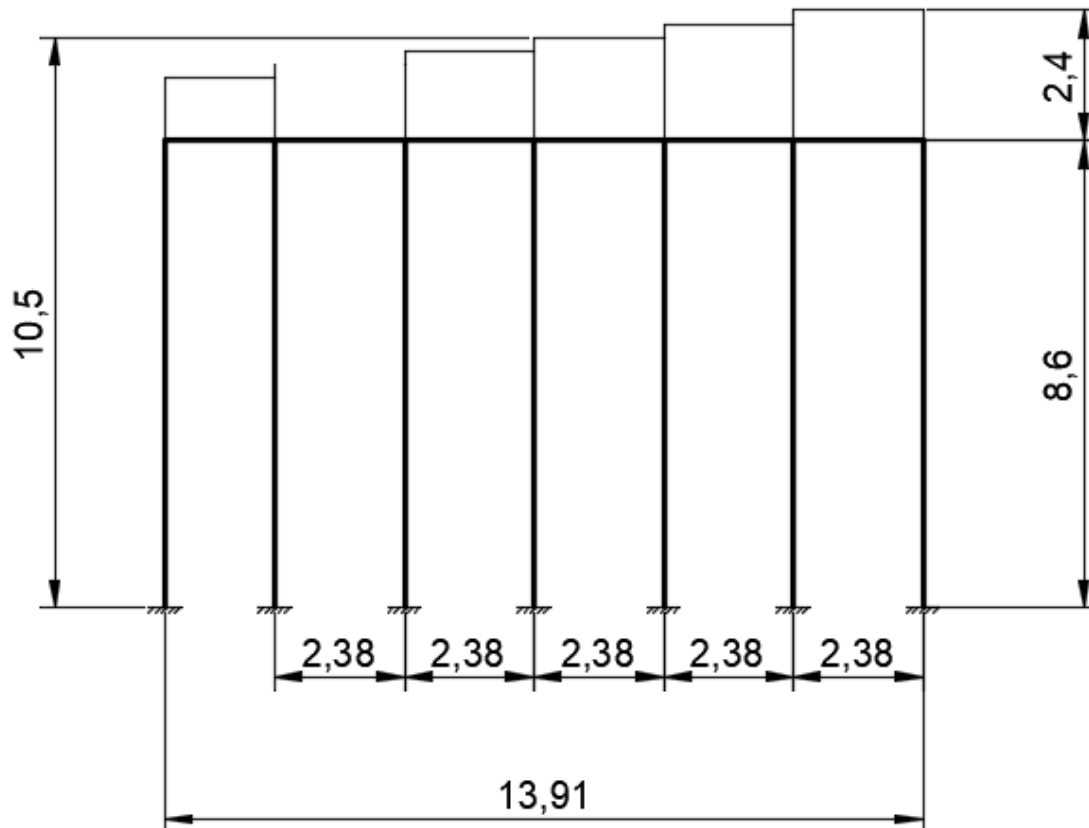


Gràfic 2. Vista en planta del pati

L'espai a cobrir és doncs des del balcó on replegarem la coberta fins al balcó posterior, cobrint ambdós balcons per tal de minimitzar l'entrada de la pluja a la zona d'assaig. Llavors, s'ha dissenyat una coberta de 14,71x13,91m plegable en 2,38x13,91m.

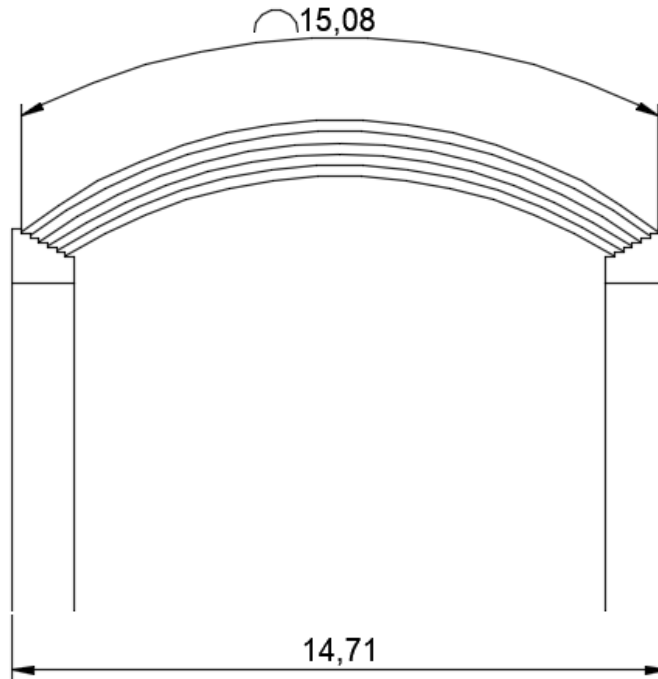
5.2. Disseny preliminar de la coberta

S'ha escollit un sistema de recinte rodant. Com s'ha explicat anteriorment, l'estructura estarà formada per dos blocs; els conjunts de dos pòrtics units per corretges i l'estructura inferior que aguantarà aquests pòrtics i permetrà el seu moviment per desplegar-se i replegar-se. A continuació es mostren en varis esquemes la configuració esmentada.



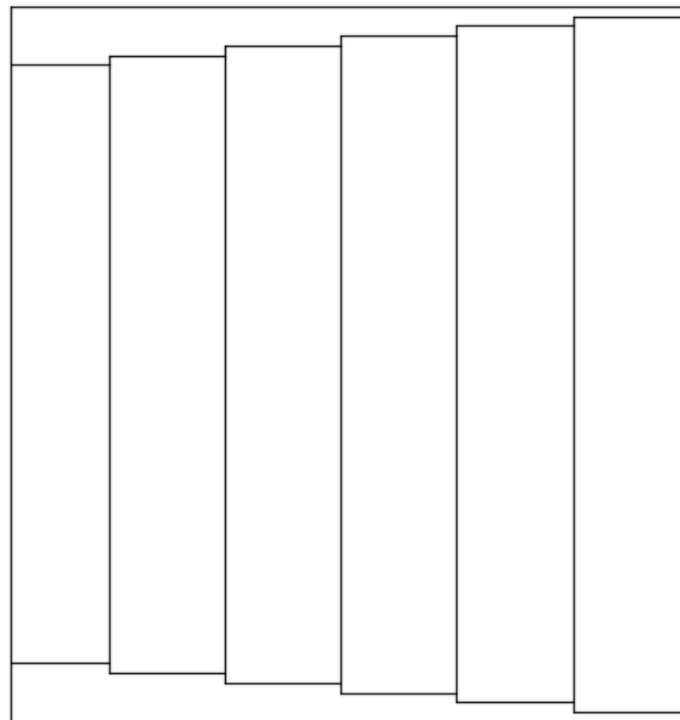
Gràfic 3. Estructura en perfil dels pilars

En aquesta vista de perfil de l'estructura es pot veure com existeix una estructura inferior formada per 7 pilars i una biga. Aquest conjunt és el que aguantarà els pòrtics que es despleguen un per sota de l'altre per cobrir tot l'espai. S'espera obtenir una alçada al centre de l'estructura de 10,5m. La separació entre pòrtics és igual a l'amplada del balcó on es replegaran (com s'ha indicat prèviament), excepte pel cas de l'últim pòrtic, per raons d'espai. Es desitja que el balcó sigui transitable quan la coberta està desplegada.



Gràfic 4. Vista d'alçat dels pòrtics

En aquesta vista d'alçat s'observa com els pòrtics encaixen un sota l'altre i com la forma de la biga de la estructura inferior no és trivial, haurà de tenir una forma específica per tal de poder encabir tots els pòrtics i les guies per on es mouran aquests.



Gràfic 5. Vista zenital dels pòrtics

En aquesta vista de planta podem visualitzar millor com es despleguen els pòrtics de la coberta sobre les bigues de l'estructura inferior.

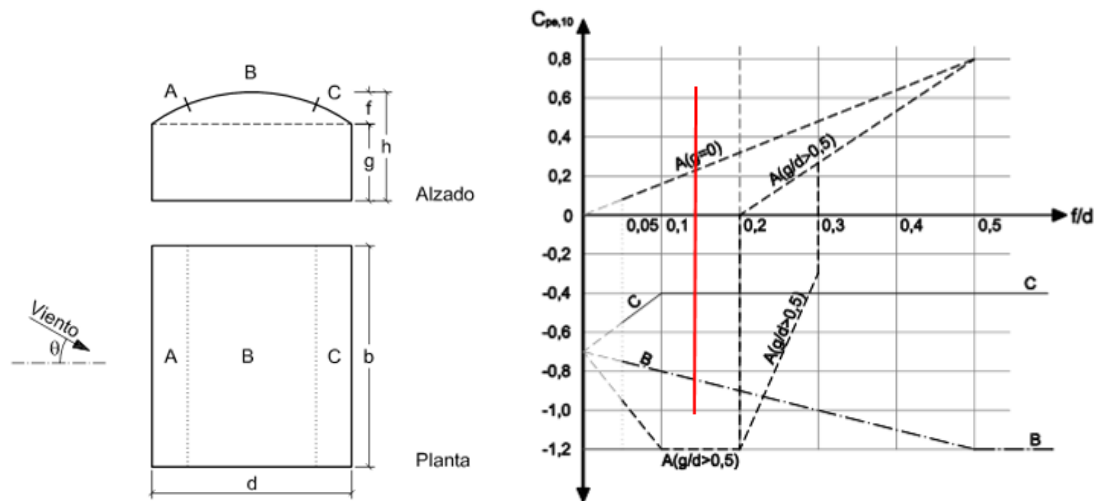
6. DIMENSIONAMENT DE L'ESTRUCTURA

6.1. Estat de càrregues

Les sobrecàrregues existents en el sistema poden ser d'ús, neu o vent. Per tal de calcular-les es consulta el que especifica el CTE (Codi Tècnic de l'Edificació) [19]DB-SE-AE. Espanya, 2009. en tant a accions a considerar per aquests tipus d'estructures.

Per la zona de Terrassa, el Codi Tècnic de l'Edificació estableix $0,4\text{kN/m}^2$ de sobrecàrrega d'ús i també estableix $0,4\text{kN/m}^2$ de sobrecàrrega de neu.

El càlcul de la sobrecàrrega per vent és més complicat, primer cal deduir els coeficients de pressió exterior (C_{pe}) per cada zona de la coberta. Es dedueix gràficament amb el següent gràfic:



Gràfic 6. Coeficients per sobrecàrrega de vent

Per a $0 < g/d < 0,5$, el coeficient de pressió exterior (C_{pe}) corresponent a la superfície A s'obté mitjançant interpolació lineal.

Per a $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ i $g/d \geq 0,5$, s'adoptarà el més desfavorable dels dos possibles valors del coeficient de pressió exterior (C_{pe}) corresponent a la zona A.

En el nostre cas:

- $g = 0$
- $f = 2,4$
- $g/d = 0$
- $f/d = 0,16$

Per tant, traçant una vertical en $f/d=0,16$ deduïm que els coeficients de pressió són els següents:

- $C_{pA} = 0,2$ (pressió)
- $C_{pB} = -0,8$ (succió)
- $C_{pC} = -0,4$ (succió)

Un cop coneixem els coeficients de pressió, cal trobar el coeficient d'exposició (C_e). Aquest es calcula amb les següents fórmules:

$$C_e = F(F + (7 \cdot k))$$

$$F = k \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right)$$

Els paràmetres són indicats al Codi Tècnic de l'Edificació segons la zona on s'ha d'executar la obra. El cas que ens ocupa entra dins la definició de "zona urbana en general, industrial o forestal". Per tant, els paràmetres són els següents:

- $k = 0,22$
- $L = 0,3 \text{ (m)}$
- $Z = 5,0 \text{ (m)}$
- $z = 11 \text{ (m)}$

Si realitzem el càlcul, obtenim el següent coeficient d'exposició:

$$C_e = 1,85$$

Per calcular la sobrecàrrega de vent en cada zona (A, B i C) cal aplicar la següent equació:

$$Q_i = Q \cdot C_e \cdot C_{pi}$$

On $i \in \{A, B, C\}$ i, segons el CTE, el paràmetre $Q = 0,52$

Llavors obtenim les següents sobrecàrregues provocades per l'acció del vent repartides superficialment:

- $Q_A = 0,192 \text{ kN/m}^2$ (pressió)
- $Q_B = -0,817 \text{ kN/m}^2$ (succió)
- $Q_C = -0,384 \text{ kN/m}^2$ (succió)

En resum, les sobrecàrregues que ha d'aguantar l'estructura de la coberta són les següents:

Taula 2. Sobrecàrregues de l'estructura

SOBRECÀRREGA		VALOR
Neu		0,4 kN/m ²
Ús		0,4 kN/m ²
Vent	Q_A	0,192 kN/m ²
	Q_B	-0,817 kN/m ²
	Q_C	-0,384 kN/m ²

6.2. Disseny i dimensionament de la superfície de la coberta

Degut a la forma de la coberta, aquesta ja evacua les aigües amb la suficient eficàcia. Per tant, no és necessària una capa d'aïllament impermeable. És per això que s'opta per una **coberta tipus sandvitx conformada in situ**. El panell sandvitx estarà format per un conjunt de xapa metàl·lica, aïllant tèrmic i xapa metàl·lica. S'escull la **llana de roca** com a aïllant tèrmic per la seva resistència al foc i fàcil col·locació en conformats in situ. S'ha trobat un proveïdor que distribueix llana de roca, ROCKWOOL. Es tria el model "ROULROCK KRAFT" [2], ja que és el model més barat i amb menys densitat nominal. Aquesta llana de roca representa una **càrrega de 21kg/m²** que caldrà tenir en compte a l'hora de dimensionar l'estructura.

La superfície de la coberta anirà ancorada a les corretges que uniran les dos bigues corbes. Es disposa de **9 corretges** separades per un espai de **1,84m** entre elles, aquesta longitud serà la llum per la qual hem de dimensionar la coberta per tal que aguantí els esforços requerits.

És necessari que la xapa metàl·lica aguantí els esforços als que pot ser sotmesa la coberta, és a dir, les sobrecàrregues. Cal veure quin és l'estat de càrregues més desfavorable per a la coberta. Es disposa de 4 estats diferents que s'hauran d'avaluar en les diferents zones de la coberta que tenen comportaments diferents davant les forces del vent:

Taula 3. Estat de càrregues més desfavorable

Estat de càrregues	Zona A (kN/m ²)	Zona B (kN/m ²)	Zona C (kN/m ²)
Càrregues permanents	0,21	0,21	0,21
Sobrecàrrega d'ús/neu	0,4	0,4	0,4
Sobrecàrrega de vent	0,192	-0,817	-0,38
Sobrecàrrega de vent + ús	0,592	-0,417	0,016

**En els estats de càrregues mencionats, no es té en compte el pes propi de la xapa metàl·lica, ja que encara es desconeix quines característiques tindrà.*

Si avaluem les càrregues permanents juntament amb les sobrecàrregues pertinents, obtenim els següents estats de càrregues generalitzats, als quals només caldria afegir el pes propi de la xapa metàl·lica (encara per determinar):

Taula 4. Estats de càrregues generalitzats

Estat de càrregues	Zona A (kN/m ²)	Zona B (kN/m ²)	Zona C (kN/m ²)
Sobrecàrrega d'ús/neu + CP	0,61	0,61	0,61
Sobrecàrrega de vent + CP	0,402	-0,607	-0,174
Sobrecàrrega de vent + ús + CP	0,802	-0,207	0,225

El **cas més desfavorable** és doncs el que produeix la **sobrecàrrega de vent** afegida a la **sobrecàrrega d'ús** en la **zona A** (0,802kN/m², el que és el mateix, 80,2kg/m²). Aquesta càrrega, afegida al propi pes de la xapa metàl·lica que s'esculli, serà la càrrega màxima que hagi d'aguantar la xapa inferior del panell sandvitx a instal·lar.

Després d'una recerca de diferents proveïdors de xapes metàl·liques designades a aquestes utilitats, mitjançant la comparativa de carga màxima i pes de la pròpia xapa per una **llum de 1,84m** (separació entre corretges) o lleugerament superior, s'ha escollit la xapa grecada "INCO 44.4" [9] amb un espessor de 0,5mm ja que és la que ofereix millor resistència de carga màxima en relació al pes de la pròpia xapa. A continuació s'adjunta la taula de característiques facilitada pel proveïdor *INCOPERFIL S.A.* en el cas del perfil indicat per una llum de 2m:

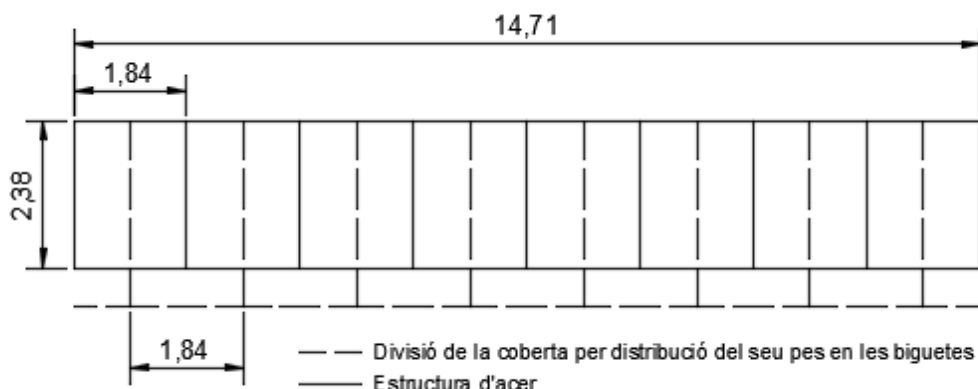
Taula 5. Taula de característiques d'INCOPERFIL

	Espessor (mm)	Càrrega màxima (kg/m ²)	pes (kg/m ²)
INCO 44.4 llum de 2m	0,5	138	4,97
	0,6	174	5,97
	0,7	210	6,96
	0,75	229	7,46
	0,8	247	7,96
	1	311	9,95

Resumint, s'escull un panell sandvitx conformat in situ amb aïllant de llana de roca. Tenint en compte les sobrecàrregues i el pes propi del panell, es tria una xapa metàl·lica capaç d'aguantar aquests esforços. Aquesta xapa és la "INCO 44.4" amb un espessor de 0,5mm fabricada per l'empresa *INCOPERFIL S.A.*, capaç de suportar una càrrega màxima de 138 kg/m² (més que suficient) i amb un pes de 4,97 kg/m². De manera que la xapa inferior del panell pot aguantar les sobrecàrregues i els pesos propis **en el cas més desfavorable**, és a dir, **90,16kg/m²**.

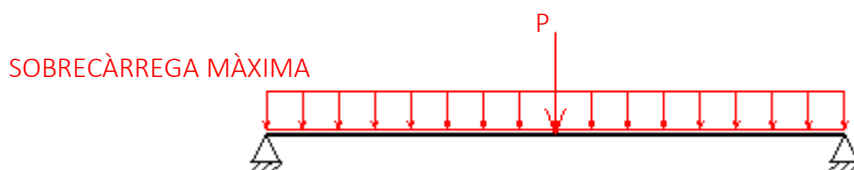
6.3. Dimensionament de les corretges

Per tal de suportar el pes de la coberta i els esforços derivats de les sobrecàrregues pertinents, cal repartir aquests esforços en les corretges; s'ha escollit una configuració de 9 corretges, de tal manera que la divisió de la superfície de la coberta queda de la següent forma:



Gràfic 7. Distribució de les corretges

Cada bigueta (a excepció de les corretges que delimiten l'estructura) ha de suportar $4,38\text{m}^2$ de coberta. Sabem que la càrrega màxima (amb sobrecàrregues de vent i ús) que ha de suportar el panell sandvitx és de $90,16\text{ kg/m}^2$. Si extrapolem aquest valor a les corretges segons s'explica en l'esquema, obtenim una **càrrega repartida de $1,658\text{kN/m}$** . De manera que s'ha de trobar un perfil capaç d'aguantar la sobrecàrrega mencionada i el propi pes de la bigueta, que dependrà del perfil escollit.



Gràfic 8. Sobrecàrrega màxima

Mitjançant simulacions amb el programa MEFI s'ha obtingut la resposta de diversos perfils davant els esforços mencionats anteriorment. D'aquesta manera és possible avaluar la fletxa i el pes de la bigueta per tal de triar la més adequada.

Taula 6. Resposta dels perfils davant esforços

	PERFIL (mm)	FLETXA (m)	g (kg/m)	P (kN)	Ix (cm ⁴)	Ry (kN)
NEU/ÚS +	60x80x4,00	0,00799	7,966	0,1895908	87,857	2,4409
VENT (A) +	40x100x2,5	0,00867	5,172	0,1230936	79,258	2,4076
CÀRREGA	40x100x3,20	0,00714	6,505	0,154819	97,215	2,4235
PERMANENT	40x120x2,00	0,00659	4,818	0,1146684	104,003	2,4034

Amb una fletxa màxima de **L/300 (0,00793m)** els perfils que s'ajusten més a aquesta condició són dos: 40x100mm amb 3,2mm de gruix i 40x120mm amb 2mm d'espessor. Es prioritza el tamany de les corretges per davant de la reacció que causen sobre la biga corba que les suportarà, per tant, s'escull el **perfil de 40x100mm** amb 3,20mm de gruix.

Per tal de poder dimensionar posteriorment el pòrtic caldrà saber com reaccionen les corretges davant els diferents estats de càrregues i quines són les reaccions que transmeten al pòrtic. És per això que a continuació es facilita una taula amb els diferents estats de càrregues i les reaccions que generen per al perfil escollit de 40x100mm amb 3,20mm d'espessor.

Taula 7. Estats de càrregues i reaccions al perfil escollit

Sobrecàrrega		Fletxa (m)	Ry en el recolzament (kN)
Ús + vent	Zona A	0,00714	2,4235
	Zona B	0,00451	-0,20233
	Zona C	0,0028	0,92292
Vent	Zona A	0,00413	1,3825
	Zona B	0,00346	-1,2431
	Zona C	0,00206	-0,11781
Ús o neu		0,00569	1,9231
Sense sobrecàrrega		0,00269	0,88242

6.4. Dimensionament del pòrtic

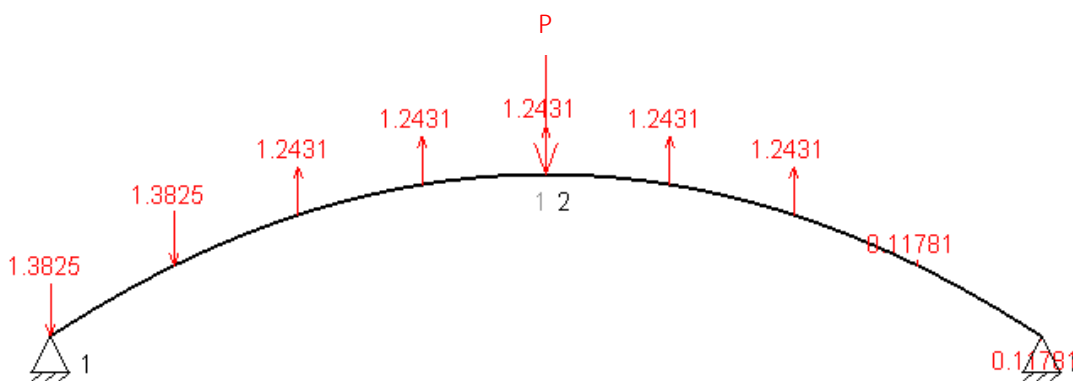
L'objectiu de poder replegar els pòrtics un sota l'altre impedeix l'ús d'elements que eviten les reaccions horitzontals als recolzaments, tals com creus de Sant Andreu o cables pretensats. Aquest condicionant obliga a dimensionar una biga molt pesant, per tal que aguanti els esforços transmetent el mínim de forces horitzontals possibles.

Com en els dimensionats anteriors, disposem de 4 estats de càrrega diferents: sobrecàrrega d'ús o neu, sobrecàrrega de vent, sobrecàrrega d'ús més vent i sense sobrecàrregues.

Taula 8. Estats de càrrega del pòrtic

Sobrecàrrega		Força en el recolzament de la corretja (kN)
Ús + vent	Zona A	2,4235
	Zona B	-0,20233
	Zona C	0,92292
Vent	Zona A	1,3825
	Zona B	-1,2431
	Zona C	-0,11781
Ús o neu		1,9231
Sense sobrecàrrega		0,88242

Mentre que el moment d'inèrcia de la biga és el que ens minimitza la fletxa, el pes d'aquesta, serà el que combatrà la força del vent per tal que l'estructura no s'enlairi. Per tant, dimensionarem primer per l'estat de càrregues amb sobrecàrrega de vent i, posteriorment, comprovarem si el perfil escollit compleix també per els altres estats de càrregues.



Gràfic 9. Diagrama d'esforços del pòrtic

Mitjançant simulacions amb el programa MEFI s'obtenen els següents resultats:

Taula 9. Resultats del programa MEFI

PERFIL (mm)	FLETXA (m)	g (kg/m)	P (kN)	Ix (cm ⁴)	Ry1 (kN)	Rx (kN)	Ry3 (kN)
40x100x2,00	0,0525	4,19	0,631852	65,333	-0,21436	5,0076	-2,8399
40x140x4,00	0,0104	10,478	1,5800824	281,336	0,25975	3,8757	-2,3658
100x140x6,35	0,00415	21,846	3,2943768	736,24	1,1169	1,8321	-1,5086
100x200x8,00	0,00152	34,377	5,1840516	2144,6	2,0912	0,52392	-0,12202
100x200x10,0	0,00145	41,938	6,3242504	2529,41	2,6613	1,8736	0,44808

El perfil que impedeix un enlairament de la coberta és el que produeix una reacció en ambdós recolzaments positiva. Per tant s'escull el **perfil de 100x200mm** amb 10mm d'espessor.

A continuació es comprova com respon el perfil escollit en tots els estats de càrregues, en quant a la fletxa i els esforços que genera en els recolzaments, per tal d'escollir el cas més desfavorable per dimensionar l'estructura inferior que suporta la biga corba del pòrtic.

Taula 10. Estat de càrrega del perfil escollit

Sobrecàrrega	Fletxa (m)	Ry1 (kN)	Rx (kN)	Ry3 (kN)
Ús + vent	0,00203	6,2691	7,7589	4,619
Vent	0,00145	2,6613	1,8736	0,44808
Ús o neu	0,00346	11,816	19,46	11,816
Sense sobrecàrrega	0,00294	7,133	12,792	7,133

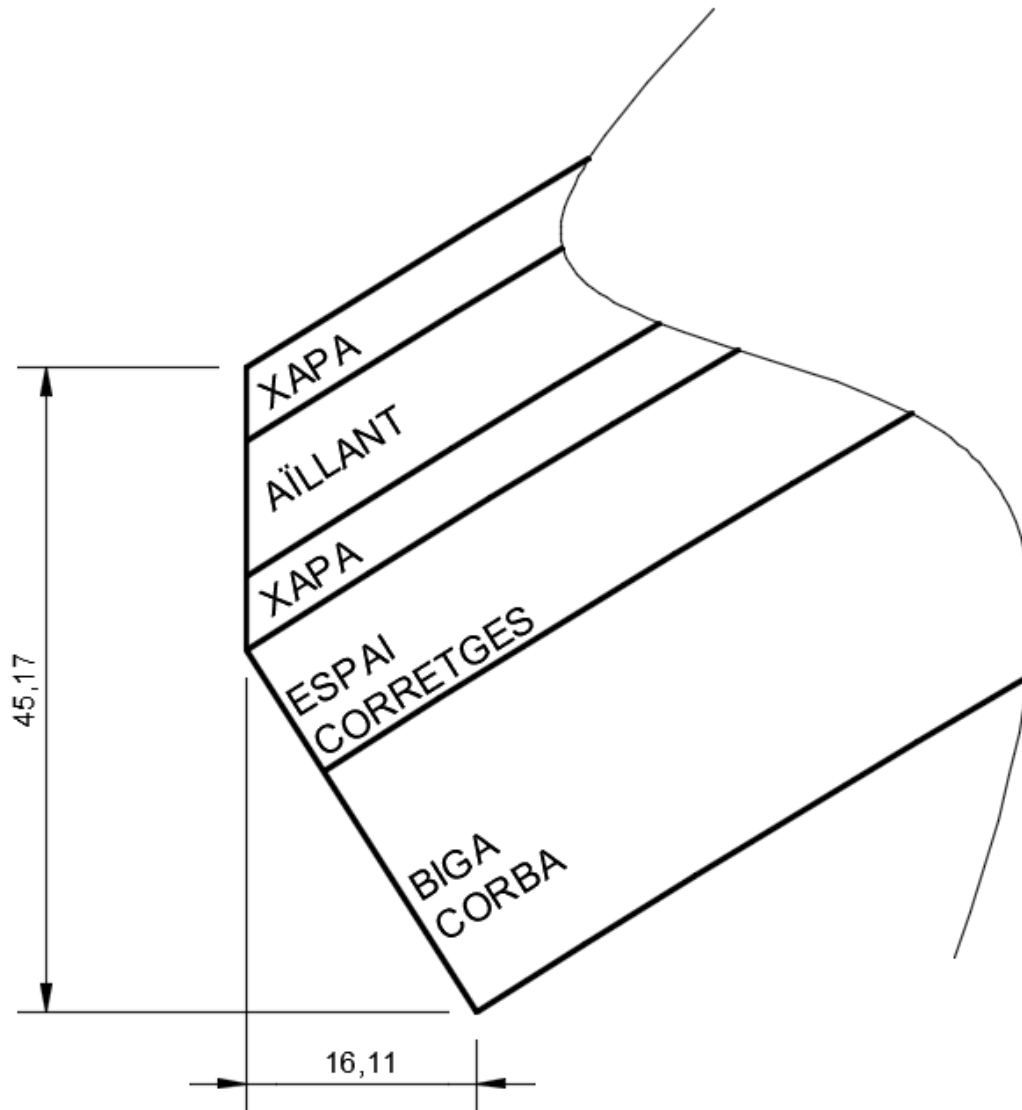
Amb els resultats obtinguts, s'arriba a la conclusió que cal dimensionar l'estructura inferior per a una força vertical màxima de **11,816kN**, provocada per l'estat de sobrecàrrega d'ús o neu. Es treballa sota la hipòtesis que l'estructura inferior suportarà la força horitzontal màxima de **19,46kN**.

6.5. Dimensionament de l'estructura inferior

Per dimensionar l'estructura inferior és necessari realitzar dos models diferents. Un model per la biga, amb una llum de 2,38m, i un model per als pilars, amb una alçada de 8,6m.

6.5.1. Dimensionament de la biga

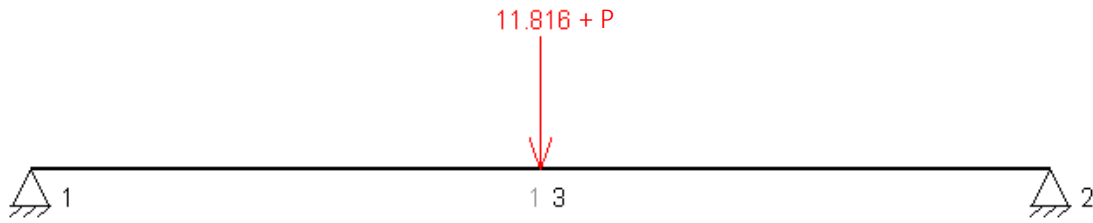
La biga no només ha d'aguantar la càrrega pertinent, si no que ha de ser el suficientment ample per tal que el pòrtic s'hi pugui recolzar. Cada pòrtic es mou per una biga diferent, d'aquesta manera, cada biga només ha de suportar les càrregues d'un sol pòrtic. A continuació es detalla un esquema sobre la delimitació de la biga del pòrtic i l'espai que ocupa (en centímetres).



Gràfic 10. Delimitació de la biga del pòrtic i l'espai que ocupa

Així doncs, per tal que la biga del pòrtic càpiga en la biga de l'estructura inferior, aquesta última ha de tenir una amplada mínima de 20cm per poder tenir cert marge d'acció.

La situació de major càrrega de la biga té lloc quan una de les dos bigues corbes recolza en la meitat de la biga inferior amb la sobrecàrrega de neu. És aquest, per tant, el cas pel qual cal dimensionar la biga mencionada.



Gràfic 11. Situació de major càrrega de la biga

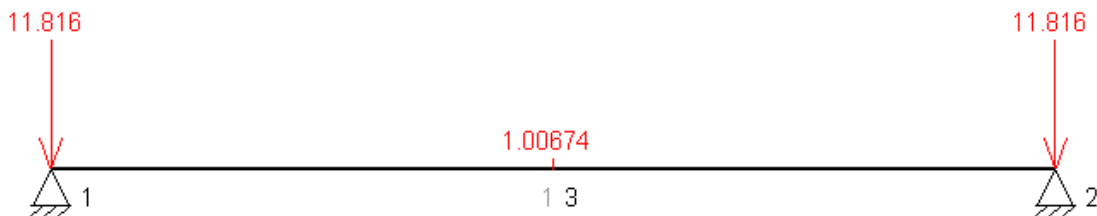
S'han simulat diversos perfils que compleixen la restricció dels 200mm d'amplada mitjançant el programa MEFI i els resultats són els següents:

Taula 11. Resultats del MEFI

PERFIL BIGA	AMPLADA (mm)	FLETXA (m)	g (kg/m)	P (kN)	Ix (cm ⁴)	Ry (kN)
IPN 550	200	0,0000357	166	3,9508	99180	7,8834
IPB 200	200	0,000524	61,3	1,45894	5700	6,6375
IPBI 200	200	0,000781	42,3	1,00674	3690	6,4114
IPBv 200	206	0,000302	103	2,4514	10640	7,1337
IPE 500	200	0,0000652	90,7	2,15866	48200	6,9873

Així doncs, tots compleixen amb la restricció de fletxa màxima ($L/300=0,0079$). Per tant, el perfil escollit és el que transmet menys esforços als recolzaments, és a dir, el perfil **IPBI 200**.

En l'estat estudiat, la biga transmet 6,4114kN al pilar que la suporta. Però, si el pòrtic està desplegat del tot, la sobrecàrrega de neu o ús recau completament a sobre del recolzament. És per això que cal avaluar quina és la reacció en aquest cas per poder discernir quina càrrega s'ha d'utilitzar per dimensionar el pilar.

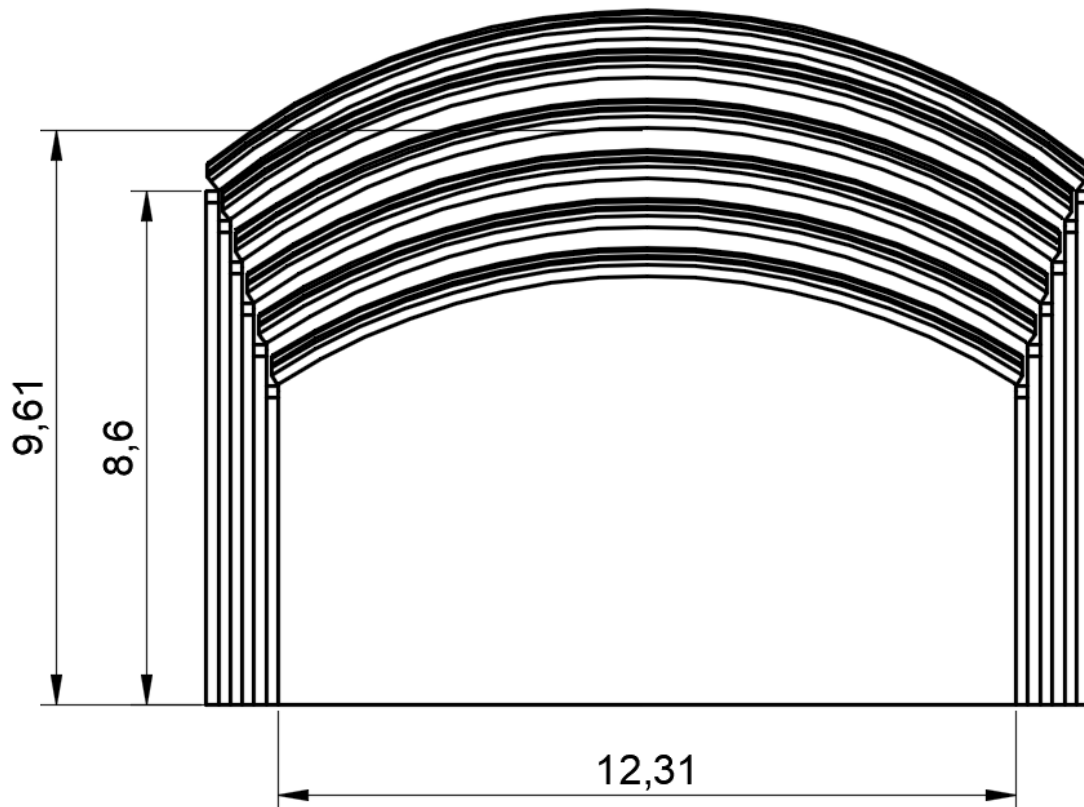


Gràfic 12. Sobrecàrregues quan el pòrtic està desplegat

En aquest cas, la reacció en els recolzaments és de **12,319kN**. Aquesta és la càrrega per la qual s'ha de dimensionar el pilar que suporta la biga.

6.5.2. Dimensionament del pilar

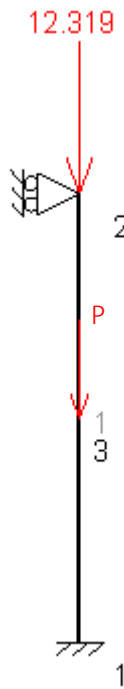
Cada pilar suporta només un pòrtic, a l'igual que les bigues. Per tant, hi ha tants pilars com llums. A continuació es mostra un esquema de la configuració final de l'estructura.



Gràfic 13. Configuració final

A l'esquema no s'inclouen els elements de recolzament, ja que no pertanyen a l'abast del projecte. Es pot apreciar com, degut al gruix de la coberta, la alçada central s'ha vist disminuïda de la que s'havia aproximat inicialment (10,5m). En el cas que es desitgés més alçada caldria reconsiderar l'estat de càrregues, ja que la sobrecàrrega de vent depèn de l'alçada de la coberta.

Per tal de dimensionar el pilar el model és el següent:



Gràfic 14. Diagrama d'esforços del pilar

És necessari tenir en compte el vinclament. En aquest cas, es disposa d'un extrem encastat i un articulat, de manera que la càrrega crítica és la següent:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{(0,7L)^2}$$

Aïllant el moment d'inèrcia i amb un coeficient de seguretat de 1,5 obtenim que:

$$I_z = \frac{1,5P_{cr}(0,7L)^2}{\pi^2 E} = 3231 \text{ cm}^4$$

Sabent que el perfil de la biga té un moment d'inèrcia de 3690 cm⁴, s'escull el mateix perfil per tal de minimitzar la varietat d'elements diferents. És a dir, el perfil designat per als pilars serà un **IPBI 200**.

Si simulem el comportament del pilar amb el programa MEFI obtenim el següent:

Taula 12. Comportament resultant del MEFI

PERFIL BIGA	FLETXA (m)	g (kg/m)	P (kN)	I _x (cm ⁴)	R _y (kN)
IPBI 200	0,000699	42,3	3,6378	3690	15,957

7. ECOEFICIÈNCIA I IMPACTE MEDIAMBIENTAL

En l'execució de la coberta es preveu certa generació de residus. És per això que cal un correcte tractament d'aquests per tal de minimitzar l'impacte mediambiental de l'obra.

Es generen els següents tipus de residus:

- **Plàstics:** empaquetatge de la llana de roca i altres elements.
- **Runa:** fonaments i remodelacions dels balcons per tal que hi puguin cabre els pilars de l'estructura inferior.
- **Metalls:** sobrant de la xapa metàl·lica de la coberta, residus de soldadura i residus de les perforacions en les corretges per fixar la coberta amb cargols.
- **Bituminosos:** sobrant de l'aïllant de llana de roca.

Per la correcta gestió d'aquests 4 tipus de residus són necessaris 4 contenidors diferents. S'utilitzen saques per el seu baix preu (12€/unitat).

Els residus no seran reutilitzats, cada tipus serà degudament reciclat a la deixalleria més pròxima.

8. VALORACIÓ ECONÒMICA

És necessari valorar econòmicament el projecte. Per tal de poder estimar el cost total de la seva execució es té en compte el cost dels materials a adquirir i el cost de la mà d'obra necessària per a la construcció de la coberta, així com el cost de la gestió dels residus generats durant l'obra. No es valora el cost del transport dels materials.

8.1. Cost dels materials

Mitjançant una recerca dels materials escollits per a l'execució de la coberta, s'ha pogut estimar el preu unitari d'aquests i elaborar un pressupost de compra.

Taula 13. Relació dels costos dels materials

Material	Cost unitari (€/m)	Quantitat (m)	Total (€)
Estructura inferior			
Biga IPBI 200	16,92	99,22	1678,8
Pilar IPBI 200	16,92	464,4	7857,65
Pòrtics mòbils (6 unitats)			
Corretja 40x100x3,2	2,28	128,52	293,026
Biga corba 100x200x10,00	18,87	180	3396,6
Coberta (208,65m²)			
Xapa grecada INCO 44.4	10,3	208,65	2149,10
Aïllant tèrmic ROULROCK KRAFT	4,62	208,65	963,96
COST TOTAL (€)			16339,13

8.2. Cost de la mà d'obra

S'estima un sou mitjà de 15€/h per obrer i que la mà d'obra necessària és de 4 obrers.

Taula 14. Relació del cost de la mà d'obra

Mà d'obra	Temps unit. (h/u)	Quantitat (u)	Total (h)
Col·locació i soldadura			
Biga-pilar (estr. Inferior)	1	42	42
Fonaments			
Cementació i col·locació dels pilars	4	54	216
Col·locació i soldadura			
Corretges-biga corba	0,2	108	21,6
Muntatge			
Pòrtics	2	6	12
Coberta (quantitat en m ²)	0,25	208,65	52,1625
SUMA TOTAL (h)			343,7625
COST TOTAL (€) (sou de 15€/h i 4 obrers)			20625,75

S'estima que l'obra tingui una durada d'1 mes.

8.3. Cost total de l'execució de la coberta

El pressupost final per a l'execució de la coberta és el següent:

Taula 15. Pressupost final

Tipus	Cost (€)
Material	16339,13
Mà d'obra	20625,75
Gestió de residus	60
Enriquiment a l'empresa (30%)	11107,47
TOTAL (€)	48.132,35

9. CONCLUSIONS

Arran de l'estudi del projecte s'ha pogut, primerament, decidir quina era la millor opció per l'escenari donat. S'ha treballat sobre la hipòtesis que una coberta corba permet un millor desallotjament de les aigües i pot assolir una major alçada.

S'han tingut en compte factors com ara el cost econòmic, la impermeabilitat de l'espai i l'alçada central de la coberta.

S'han ponderat diverses opcions al respecte, conclouent que la millor alternativa era un sistema de recinte rodant. Aquesta configuració permet replegar tota la coberta en un espai relativament reduït, permet maximitzar l'alçada central de la coberta (fet important per a l'activitat castellera que es duu a terme en el local) i garantir al màxim la impermeabilitat de l'espai d'assaig.

Cal fer esment que han quedat fora de l'abast i objectius del treball el disseny del sistema de moviment de la coberta (guies, cables, motors, recolzaments, etc.), aspectes de legislació urbanística sobre la possibilitat real de construir el projecte i el disseny dels fonaments que ancoren l'estructura al sòl.

En conclusió, la solució proposada satisfà els requisits i les demandes dels objectius i el pressupost associat és coherent amb els estàndards actuals per una actuació d'aquest tipus.

10. BIBLIOGRAFIA

[1]–[19]

- [1]. UCLM, «Estructuras de acero: Problemas Pilares». .
- [2]. ROCKWOOL, «Catálogo ROCKWOOL 2017». 2017.
- [3]. INCOPERFIL, «Cerramientos Metálicos Detalles Constructivos». .
- [4]. INCOPERFIL, «Cerramientos Metálicos Dossier Técnico». .
- [5]. INCOPERFIL, «Cubiertas Curvadas Autoportantes Dossier Técnico». .
- [6]. INCOPERFIL, «Cubiertas Curvadas Autoportantes Detalles Constructivos». 2007.
- [7]. INCOPERFIL, «Manual Técnico de Conectores Hilti X-HVB». 2005.
- [8]. «Tipos de cubiertas». .
- [9]. INCOPERFIL, «PERFIL CUBIERTAS METÁLICAS 44.4».
- [10]. INCOPERFIL, «PERFIL CUBIERTAS METÁLICAS 30.5».
- [11]. INCOPERFIL, «PERFIL CUBIERTAS METÁLICAS INCO 30.4». .
- [12]. INCOPERFIL, «PERFIL CUBIERTAS METÁLICAS». .
- [13]. FERROMETALPERFILES, «Catálogo Ferrometal Perfiles». .
- [14]. «Tipos de cubierta». [En línea]. Disponible en: https://es.slideshare.net/gluiss/tipos-de-cubierta?next_slideshow=2. [Accedido: 21-abr-2017].
- [15]. I. R. Gabriel TROGLIA Ing Daniel TROGLIA Sr Bruno L GODOY M, «TABLAS PERFILES LAMINADOS Y TUBOS ESTRUCTURALES PARA APLICACIÓN DE LOS REGLAMENTOS CIRSOC 301/2005 Y CIRSOC 302/2005». .
- [16]. *DB-SE-A*, vol. 19. Espanya, 2007.
- [17]. *DB-SE*. Espanya, 2009.
- [18]. M. Hurtado Acebes, «MÓDULO I: Seguridad Estructural INDICE CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)».
- [19]. *DB-SE-AE*. Espanya, 2009.