

Treball final de grau

Estudi: Grau en Tecnologies Industrials

Títol: Disseny d'una rampa portàtil mecanitzada

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Deniel Ventura Segura

Tutor: Dr. Francisco Javier Espinach Orus

Departament: Organització, Gestió Empresarial i Disseny del Producte

Àrea: Expressió Gràfica en l'Enginyeria

Convocatòria (mes/any): Setembre 2015

ÍNDIX

1 INTRODUCCIÓ	11
1.1 Antecedents	11
1.2 Objecte	12
1.3 Abast.....	12
2 DISSENY.....	13
2.1 Consideracions inicials	13
2.2 Normativa aplicable	13
2.3 Limitacions de disseny.....	14
3 MATERIAL.....	15
3.1 Estructura.....	15
3.2 Terra de la passarel·la	15
3.3 Armadura.....	16
4 PROCÉS DE DIMENSIONAMENT	17
5 DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ	19
5.1 Dimensions generals	19
5.2 Secció d'estructura	20
5.3 Base	20
5.4 Terra.....	21
5.5 Pistons i braços.....	22
5.6 Armadura.....	22
5.7 Passadors	23

6 SUPORT INFORMÀTIC	24
6.1 SAP 2000 v.17.0.0 Ultimate.....	24
6.2 ANSYS Mechanical APDL 15.0.....	24
6.3 SOLIDWORKS 2015.....	24
7 CÀLCULS I COMPROVACIONS	25
7.1 Estat de càrregues	25
7.1.1 Comprovació d'estats límits de servei ELS (deformació)	25
7.1.2 Comprovació d'estats límits últims ELU (STR).....	26
7.2 Comprovació de resistència de les barres	26
7.2.1 Resistència de la secció.....	26
7.2.2 Resistència de la barra i pandeig.....	27
7.3 Comprovació de les unions amb passadors.....	27
7.4 Comprovació dels nusos.....	27
7.5 Comprovació dels taulons de fusta	27
7.6 Comprovació de bolcada (estabilitat)	28
8 MÈTODE DE FABRICACIÓ.....	29
8.1 Tall	29
8.2 Soldatge	29
8.3 Pintura	30
8.4 Comprovació	30
9 RESUM DEL PRESSUPOST	31
10 CONCLUSIONS.....	32
11 RELACIÓ DE DOCUMENTS	34
12 BIBLIOGRAFIA	35

ANNEX A: CROQUIS DE LA PASSAREL·LA	37
A.1 Mides de la passarel·la.....	38
A.2 Tipus de secció de l'estructura	40
A.2.1 Solució escollida – Estructura amb barres rectes	40
A.2.2 Solució alternativa 1 – Estructura amb barres corbades.....	43
A.2.3 Solució alternativa 2 – Estructura amb dos carrils i pistons al centre	43
A.3 Tipus de bases.....	44
A.3.1 Solució escollida - Base amb rodes i barres per ser remolcada	45
 ANNEX B: ESTAT DE CÀRREGUES	 47
B.1 Pes propi.....	48
B.1.1 Pes de la secció principal	48
B.1.2 Pes del tauler i l'armadura	50
B.1.3 Pes conjunt	51
B.2 Acció del vent	51
B.2.1 Velocitat bàsica del vent	51
B.2.2 Velocitat mitjana del vent	52
B.2.3 Força del vent	54
B.3 Acció de la neu	55
B.3.1 Sobrecàrrega de neu en terrenys horitzontals.....	56
B.3.2 Sobrecàrrega de neu en taulers	57
B.4 Sobrecàrrega d'ús	57
B.5 Combinacions d'accions (ELS i ELU).....	59
B.5.1 Comprovació d'estats límits de servei ELS (deformació).....	63
B.5.2 Comprovació d'estats límits últims ELU (STR).....	63
 ANNEX C: MODELITZACIÓ EN SAP 2000.....	 64
C.1 Model simplificat de la passarel·la	64
C.2 Resultats.....	68
C.2.1 Anàlisi de l'impacte de la càrrega distribuïda	69
C.2.2 Anàlisi de l'impacte de les càrregues laterals.....	70
C.3 Model final de la passarel·la	70

C.3.1 Canvis en la gelosia.....	70
C.3.2 Canvis en els perfils.....	71
C.3.3 Modelització dels estats de càrregues	73
C.3.3.1 Permanent	74
C.3.3.2 Sobrecàrrega	75
C.3.3.3 Vent.....	76
C.3.3.4 Neu	77
C.3.4 Combinacions ELU i ELS	77
C.3.5 Simulació i anàlisi dels resultats (ELU)	79
C.3.6 Simulació i anàlisi dels resultats (ELS).....	81
C.4 Passarel·la en moviment.....	82
C.4.1 Posició crítica en el desplegament	82
C.4.2 Anàlisi de posicions	83
C.5 Base	85
C.5.1 Resultats	88
ANNEX D: RESISTÈNCIA DE LES BARRES	89
D.1 Resistència de les seccions	93
D.2 Resistència de les barres.....	94
D.2.1 Cordó inferior	97
D.2.2 Diagonal.....	97
D.2.3 Muntant	98
D.2.4 Cordó horitzontal	99
D.3 Resultats.....	100
ANNEX E: TERRA DE TAULONS DE FUSTA.....	101
E.1 Característiques de la fusta	102
E.2 Càrregues sobre els taulons	102
E.3 Simulació del tauló amb ANSYS	103
ANNEX F: NUSOS.....	107
F.1 Nus en la gelosia de la planta.....	107
F.2 Nusos en la gelosia vertical	108

F.3 Nusos en T perpendiculars	110
ANNEX G: PASSADORS	111
G.1 Geometria del passador.....	111
G.2 Verificacions	112
G.2.1 Resistència a tallant	112
G.2.2 Resistència a flexió.....	112
G.2.3 Resistència combinada a tallant i flexió	113
G.3 Càlculs en unions	113
G.3.1 Unió cordó inferior amb cordó inferior	113
G.3.2 Unió cordó superior amb braç	114
G.3.3 Unió braç amb braç	115
ANNEX H: PISTONS	117
ANNEX I: MATERIALS.....	119
I.1 Materials escollits per a l'estructura i base.....	119
I.1.1 Acer S355J2+N – DIN 17121 St-52.3N (355 MPa).....	119
I.2 Materials alternatius de l'estructura descartats.....	120
I.2.1 Acer S275J2+N – DIN St 44-3 N (275 MPa).....	120
I.2.2 Acer Corten	120
I.2.3 Alumini.....	121
I.2.4 Titani.....	122
I.3 Materials escollits per a l'armadura	123
I.3.1 Conglomerat de fusta	123
I.4 Materials alternatius per a l'armadura	124
I.4.1 Alumini.....	124
I.4.2 Plàstic.....	124
ANNEX J: BOLCADA DEL CONJUNT	126
J.1 Estudi alternatiu – Barres remolcadores amb contrapesos	127
ANNEX K: MOBILITAT DEL CONJUNT	129

ANNEX L: MÈTODE DE FABRICACIÓ.....	130
L.1 Tall	130
L.2 Soldatge	131
L.3 Pintat/Acabat superficial	132
L.3.1 Esmaltat.....	132
L.3.2 Vernissatge	132
L.3.3 Pintat amb pistola de spray	132
L.4 Toleràncies	133

1 INTRODUCCIÓ

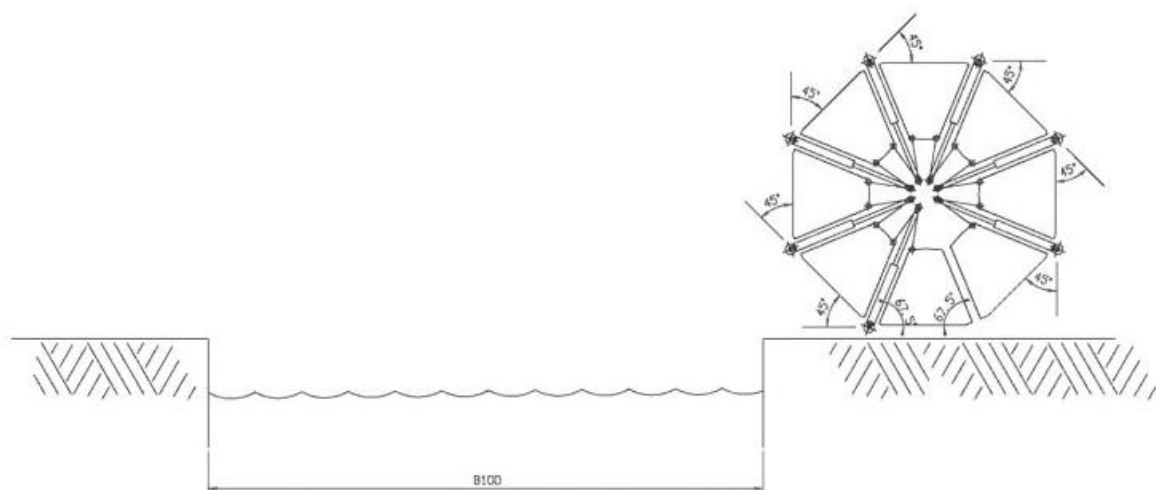
1.1 Antecedents

Actualment és força comú trobar esdeveniments públics de tota mena, ja siguin de caràcter polític, cultural, lúdic i/o esportiu, i això per nombrar-ne uns quants dins el ventall de categories. Aquests tipus d'esdeveniments, cada cop acullen a un públic més ampli i nombrós que requereix de noves assistències per participar-hi.

Segons la temàtica escollida, es sol triar una localització que en benefici la realització de l'activitat i l'accés als participants. Per aquest motiu les localitzacions dels esdeveniments poden diferir substancialment unes de les altres. Però sovint, ja sigui perquè es tracta d'edificis o instal·lacions antigues, o el sòl presenti desnivells i clots, és necessari l'ús de rampes per garantir-ne l'accessibilitat

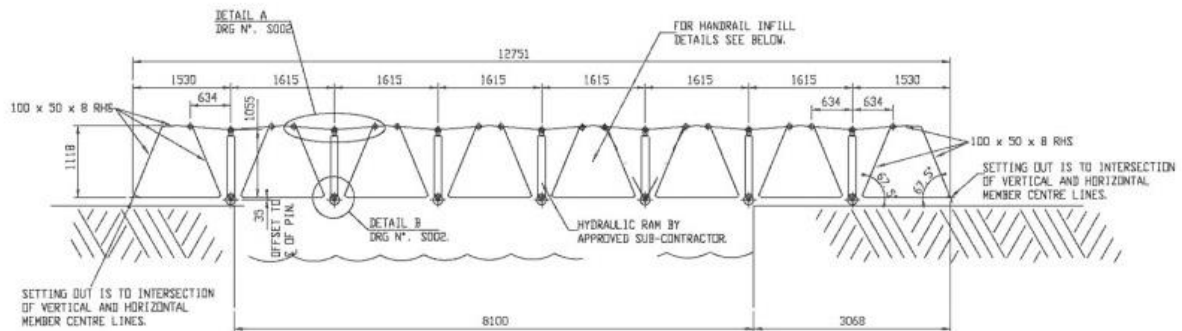
El mecanisme de l'estudi pretén facilitar l'accés a tot el públic creant una rampa traslladable que permeti salvar obstacles de manera elegant i que donades les circumstàncies no desentoni en actes oficials de més prestigi.

La idea del mecanisme prové d'un pont mòbil a Paddington Basin (Londres), instal·lat des de Setembre de 2004 fins a l'actualitat. La passarel·la està formada per vuit seccions. Quan està en repòs, té forma d'octàgon.



Il·lustració 1-1 – “Blueprint” del pont rodant de Heatherwick en posició recollida (www.heatherwick.com)

Quan és requerit, la passarel·la es desplega en tota la seva totalitat per a donar pas als vianants.



Il·lustració 1-2 - "Blueprint" del pont rodant de Heatherwick en posició estesa (www.heatherwick.com)

1.2 Objecte

L'objecte del present document és realitzar l'avantprojecte d'una rampa portàtil mòbil basant el mecanisme en el que disposa el pont rodant de Heatherswick de Londres.

Aquesta rampa ha de permetre l'accessibilitat a tot tipus de públic (incloent persones amb mobilitat reduïda). Ha de permetre el canvi de posició octagonal (recollida) a rampa.

La màxima prioritat serà realitzar un disseny conceptual i dimensionament adequats de l'estructura. Al final, es valorarà si és viable realitzar el pont rodant mòbil.

1.3 Abast

La realització d'aquest treball inclou dissenyar l'estructura de la rampa. Fer-ne les comprovacions pertinents associades a la normativa corresponent per a la seva homologació. Finalment, redactar-ne els plànols per a la seva posterior fase de producció.

Aquest projecte exclou el disseny de les connexions dels pistons i la seva motorització, així com també exclou el disseny de la suspensió i les connexions per a ser remolcat.

2 DISSENY

2.1 Consideracions inicials

Des d'un bon principi, cal remarcar com d'important són les nostres decisions. El disseny que obtinguem, estarà inevitablement condicionat per certes limitacions que ens imposarà la normativa, la qual no podem escollir. Però llevat d'això, tenim certa llibertat per a trobar la solució ideal.

És per això, que hem de tenir en compte que totes les decisions poden tenir un gran impacte tant en l'estètica com en el funcionament final de l'estructura, resultant en un projecte viable o inviable.

El punt més destacat de la passarel·la és que aquesta pugui plegar-se i desplegar-se en un octàgon. És la primera prioritat. Amés, un dels altres objectius és que es pugui regular l'alçada de la rampa. La passarel·la en tots els efectes serà tractada igual que una passarel·la peatonal fixe.

Així doncs, no hem d'oblidar que tot i la seva peculiaritat, la seva funció és ser transitada per vianants. Haurà d'estar habilitada per a persones amb mobilitat reduïda. L'estructura haurà de ser robusta i garantir la integritat estructural.

2.2 Normativa aplicable

La passarel·la que volem dissenyar és considerada una estructura civil. Com a tal, està subjecta al CTE (Codi tècnic de la edificació). De la mateixa manera, el Ministeri de Foment ha creat una normativa específica per a la construcció de ponts i carreteres amb el nom de IAP-11 (Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera).

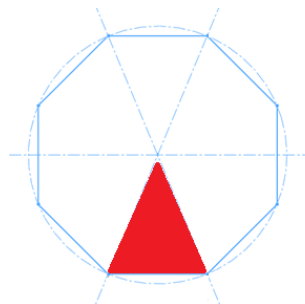
Finalment, la Generalitat de Catalunya ha creat normatives d'accessibilitat que només afecten a Catalunya.

Totes les normatives que hem de comprovar a data de Setembre de 2015 són les següents:

- Departament de Benestar Social i Família. Requisits d'accessibilitat als establiments d'ús públic, Criteris d'aplicació de la normativa. 2011.
- Ministerio de fomento. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. 2012.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad estructural. 2009.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad estructural, Acciones en la edificación. 2009.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad Estructural, Acero. 2008.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad Estructural, Madera. 2009.

2.3 Limitacions de disseny

Per a aconseguir que la estructura es replegui en un octàgon, cada una de les vuit parts haurà de ser idèntica i haurà d'estar continguda a dins d'un dels triangles de l'octàgon.



Il·lustració 2-1 - Àrea de construcció d'una secció

Aquesta limitació de la geometria ens obliga a adoptar la solució més obvia, que cada part tingui forma triangular o trapezoïdal.

De la mateixa manera, com que els pistons han d'estar obligatòriament en les interseccions entre les àrees triangulars (per a que l'estructura sigui totalment octagonal), la geometria de les barres estarà condicionada un cop elegim la dimensió d'una d'aquestes. Ho podem veure amb més detall a l'Annex 12ANNEX A:12A.1.

3 MATERIAL

3.1 Estructura

El material que hem escollit és l'acer. En resum, l'acer posseeix un seguit de característiques que el fan excel·lent en elements estructurals. Entre les seves virtuts en podem destacar una elevada resistència a la ruptura, tenacitat, duresa i la facilitat d'unir-lo amb soldadures. Degut a la seva abundància (respecte altres metalls) i a un procés d'obtenció força senzill, és econòmic. És un material força estàndard quan parlem de barres i tubs estructurals gràcies a la seva versatilitat d'aplicacions.

El material en qüestió és l'acer S355J2+N – DIN 17121 St-52.3N.

Característiques mecàniques de l'acer S355J2+N	
Densitat (g/dm³)	7850
Mòdul de Young (MPa)	$2,1 \cdot 10^5$
Coefficient de dilatació tèrmica (K⁻¹)	$1,17 \cdot 10^{-5}$
Coefficient de Poisson	$\nu=0,3$
Resistència elàstica (N/mm²)	355
Resistència a la tracció (N/mm²)	490-630
Test d'impacte (J)	27

Il·lustració 3-1 – Taula de propietats mecàniques de l'acer DIN 17121

Podem veure l'elecció del material en l'annex 12I.1.1.

3.2 Terra de la passarel·la

El terra el conformaran un conjunt de taulons de fusta. En concret nou per a cada secció. Donaran un toc visual agradable, ens ajudarà a eliminar vibracions pel pas dels vianants i seran fàcils de instal·lar. Concretament aquests taulons seran de fusta serrada conífera de classe resistent C30.

Podem veure la tria amb més detall a l'12ANNEX E:.

3.3 Armadura

L'armadura és una peça constituïda de fusta conglomerada classe semidura segons la normativa UNE-EN-622-3. L'armadura és una peça decorativa, així doncs les prestacions de la fusta no són estructurals.

A l'apartat de l'annex 12I.3.1 podem veure amb més detall l'elecció del material.

4 PROCÉS DE DIMENSIONAMENT

Un procés molt important en el disseny estructural, és la determinació del material que es vol utilitzar i del perfil i dimensions dels membres individuals de l'estructura. Aquest procediment ve precedit d'un anàlisi que ens dona els valors de tall, càrregues axials i moments flectors en els membres. La selecció d'un perfil, generalment coneguda com a disseny, es troba afectada per molts factors.

La resistència és el factor que controla generalment la selecció final del perfil. Els membres han de ser lo bastant resistents com per donar un factor satisfactori de seguretat contra falla per a totes les càrregues possibles – tals com càrrega morta, càrrega viva, impacte, vent, càrregues d'inèrcia i càrregues de sismes-. Generalment es considera la possibilitat de càrregues futures que poden resultar de la alteració o conversió d'una estructura.

La selecció elegida no solament ha de ser bastant resistent per a evitar falles, sinó que també ha de se bastant rígida per que una deformació excessiva (deflexió) no destrueixi el valor funcional de l'estructura o arribi a ocasionar fallades del material al que es troba.

Si s'agafa la secció més lleugera per a cada membre, la estructura resultant pot contenir un nombre crescut de perfils i mides diferents de material. Encara quan els membres han de ser individualment els més econòmics, col·lectivament pot no ser la solució més econòmica. Degut a les petites quantitats que es requereixen de cada perfil, els costos unitaris poden elevar-se. Els detalls de connexions seran també de gran varietat i poden augmentar els costos de fabricació. En aquests casos es freqüentment desitjable, limitar el nombre de perfils diferents que es fan servir quan alguns membres poden ser més resistents i pesats de lo estrictament necessari.

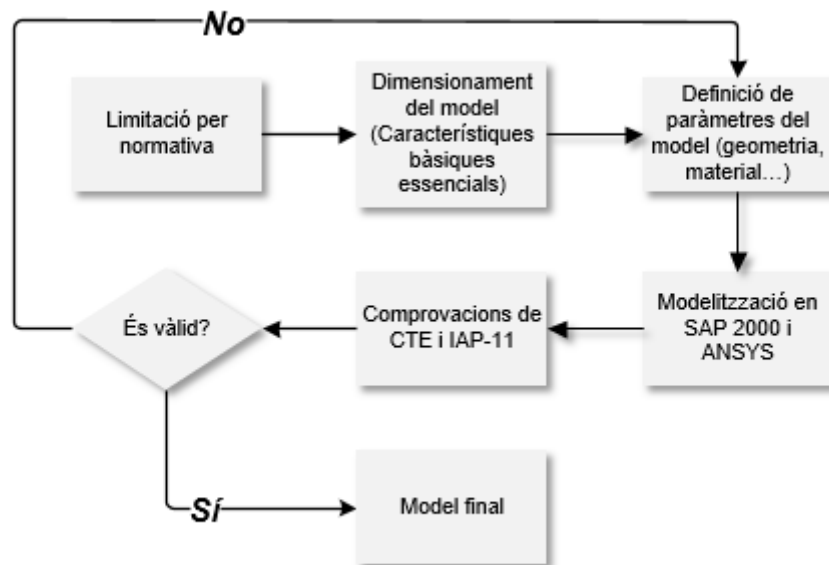
L'aparença de l'estructura és en el nostre cas també molt important. Hi ha una tendència cada vegada major a produir estructures agradables a la vista. Certs tipus d'estructures no han de ser solament suficientment sòlides per completar la seva funció, sinó que a la vegada han de ser lo bastant fortes per inspirar confiança en l'usuari.

L'espai disponible és a vegades un factor determinant. La secció elegida freqüentment pot ajustar-se a requisits arquitectònics en quan la dimensió. La secció pot triar-se de manera que

pugui allotjar qualsevol accessori o detall requerit. En el nostre cas podrien allotjar connexions dels pistons per exemple.

Un factor que és força condicionant és l'entorn. Les condicions de servei poden afectar la selecció del perfil. Una estructura exposada a influències corrosives, erosió, climes extrems o temperatures poc usuales ha de ser dissenyat considerant aquestes condicions i els seus efectes sobre la vida útil de l'estructura. Les especificacions per estructures que han de treballar sota condicions de servei severes o que s'espera que funcionin per un llarg temps són generalment més rígides que les que s'apliquen a estructures de servei lleuger i de vida curta.

Finalment, la disponibilitat del material també s'ha de considerar, la secció més lleugera no és probablement la més econòmica quan és necessari obtenir una gran distància a salvar o si es necessari que els laminadors fabriquin una petita quantitat d'aquestes seccions per emplenar els requisits que es demanen. La selecció del perfil a vegades es troba també afectada per la facilitat de maniobra, fabricació i muntatge, o pel cost de manteniment.



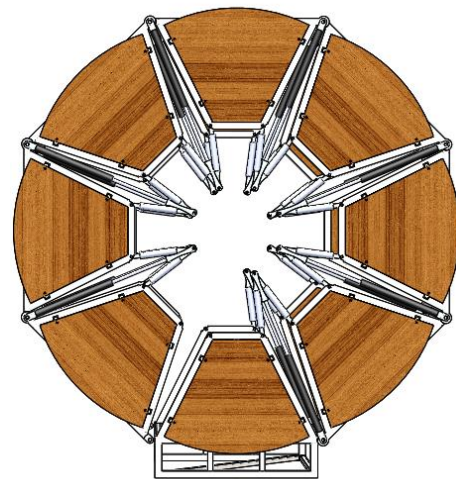
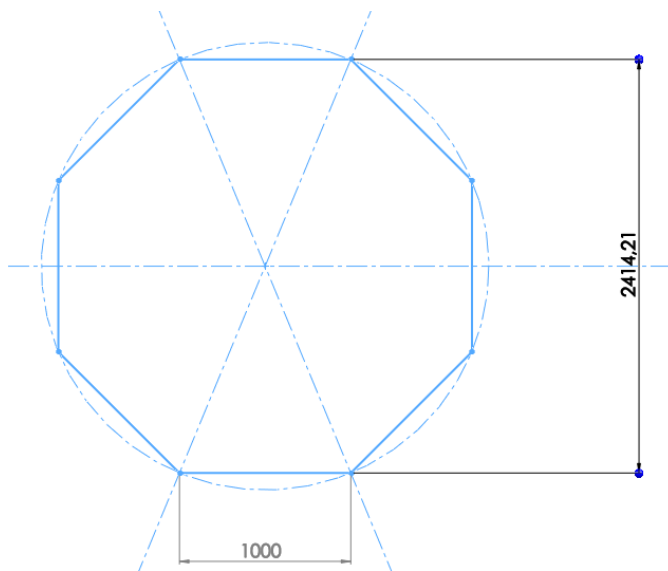
Il·lustració 4-1 - Procés de dimensionament

Un cop obtinguda una primera iteració, s'ha de estudiar el resultat obtingut i modificar-lo si es necessari per tenir un disseny més apropiat el pròxim cop.

5 DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ

5.1 Dimensions generals

La passarel·la és divideix en vuit seccions. Set són idèntiques i la restant és la base, la qual està lleugerament reforçada. El conjunt recollit fa 2,322 metres d'alçada. Cada secció de la passarel·la fa un metre i totes juntes set metres de longitud. Això ens permet superar 1,033 metres de desnivell considerant que la rampa està elevada un 12% o $6,84^\circ$ (el màxim permès per normativa). Si és necessari es pot augmentar l'angle per a salvar més distància ja que encara pot ser practicable.



Il·lustració 5-1 - Dimensions generals de la passarel·la

Il·lustració 5-2 – Representació en SOLIDWORKS

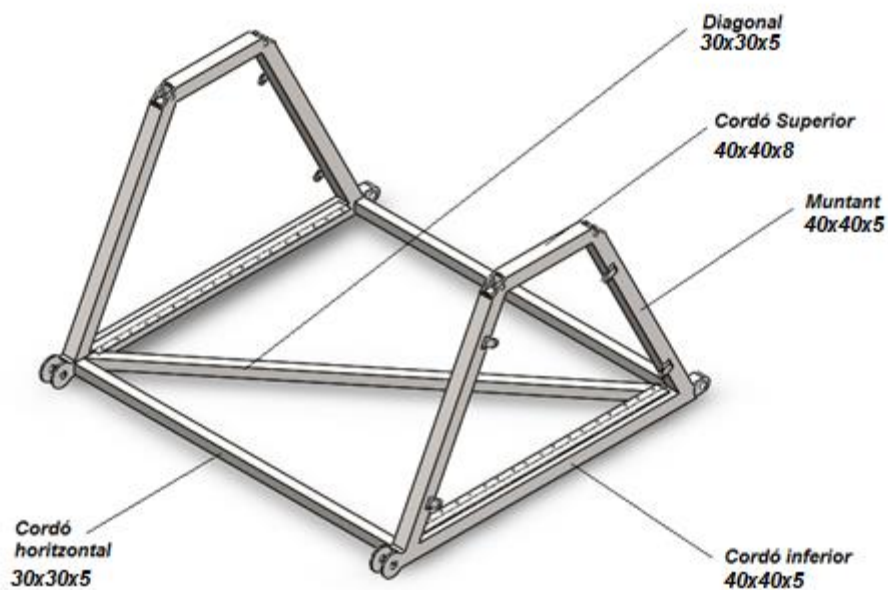
La normativa d'accessibilitat demana apart del pendent, una amplada mínima de 0,9 metres. Per això la rampa té una amplada efectiva de pas de 1,060 metres. Amés demana que hi hagi una barana de 0,7-0,65 m. Utilitzem les mateixes barres de la gelosia lateral com a passamans, ja que les hem dissenyat per a que estiguin a aquesta alçada .

Cada secció disposa de dos pistons que són els encarregats de generar el moviment.

5.2 Secció d'estructura

La secció mesura un metre a la base i té una alçada de 0,6 metres. Els pistons estan sobre les unions als extrems de la secció (s'uneixen als passadors).

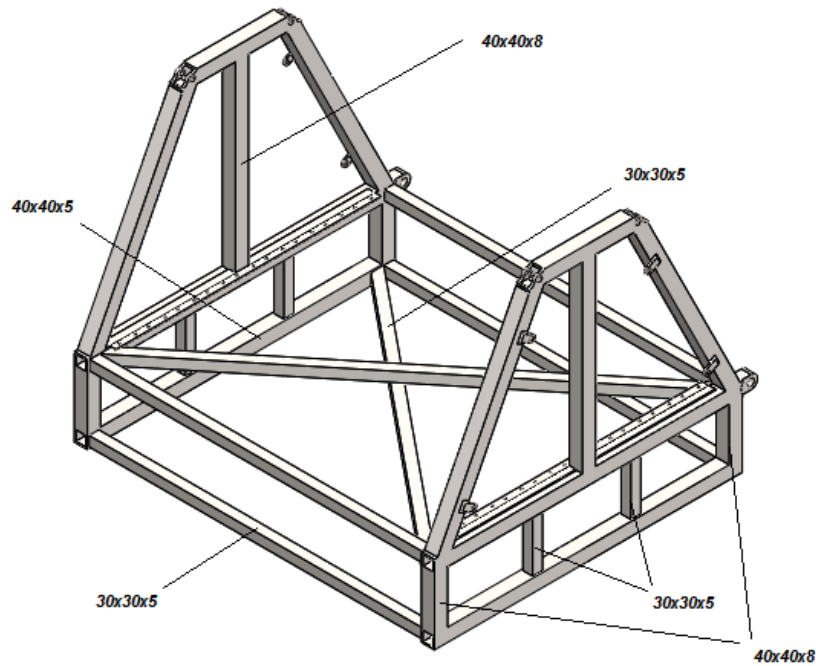
S'han utilitzat perfils quadrats d'acer de 40x40x8, 40x40x5 i 30x30x5 (mm). També un perfil tubular de 40x5 per a crear els braços, que uneixen el cordó superior amb el pistó. Les barres estan unides entre elles mitjançant soldadures.



Il·lustració 5-3 - Barres que conformen la secció

5.3 Base

La base es basa en la mateixa secció que acabem de veure amb un seguit de barres afegides. Aquestes les podem veure a la Il·lustració 5-4.

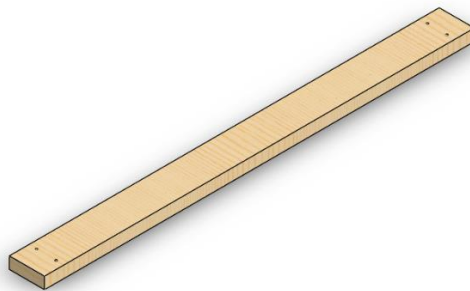


Il·lustració 5-4 - Barres afegides a la base

Les barres compleixen una doble funció. Reforcen l'estructura (la base és la part que pateix més esforços) i permeten la creació d'un nivell inferior que ens servirà per a emmagatzemar la bomba del pistons, la instal·lació de rodes i barres per a remolcar-la i afegir-hi contrapesos per evitar que bolqui.

5.4 Terra

En cada secció tindrem nou taulons de fusta. Les característiques de la fusta estan a l'apartat 3.2. Les dimensions del tauló són 1,1 metres de longitud, 0,9 m d'amplada i 0.4 m de gruix.

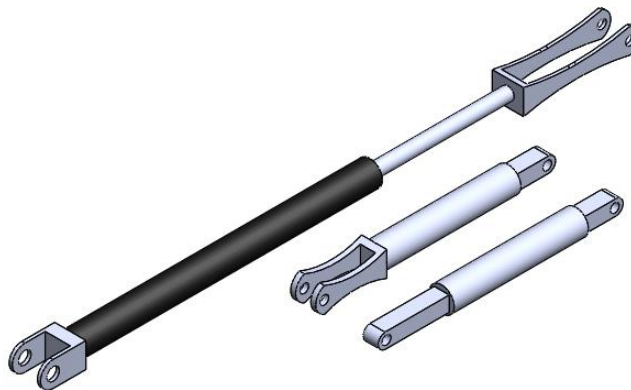


Il·lustració 5-5 - Tauló de fusta

5.5 Pistons i braços

En total tindrem catorze pistons de 40 mm de diàmetre exterior, homologats segons la normativa ISO 3320. Els dos pistons connectats a la base estaran un circuit apart per a poder regular l'alçada de la passarel·la. La resta estaran connectats al mateix circuit, i controlarem el desplegament amb ells. Aquest pistó té 220 mm de recorregut. El cos del pistó en Solidworks és una representació senzilla del pistó real. El que ens interessa són els capçals, la longitud d'elongació i la força capaç d'exercir.

Els braços són unes peces que uneixen els pistons amb el cordó superior de les seccions de la estructura. Aquestes peces estan formades per barres tubulars d'acer de 40x5 (mm) i fan 0,364 m de longitud. Els extrems s'uniran amb passadors i ens serviran per a connectar diferents peces. Hi ha dos tipus de braç, el model tipus 01 i el 02.



Il·lustració 5-6 - Pistó (esquerre) i els dos tipus de braços amb diferents unions als extrems

5.6 Armadura

Cada secció de la estructura té dues peces d'armadura. L'objectiu principal de l'armadura és el de embellir el conjunt. Quan la passarel·la està en forma d'octàgon formen una circumferència. A l'apartat 3.2 hi ha les propietats de la fusta conglomerada. Les dimensions de l'armadura són 0,933 metres de radi de circumferència, costat de 0,626 m i part superior de 0,275 m.



Il·lustració 5-7 - Armadura de fusta conformada

5.7 Passadors

Les seccions s'uneixen mitjançant passadors de diferents mides. Els passadors ens permeten que les articulacions girin, permeten el moviment que desitgem.

La unió cordó superior amb braç n'utilitza de 14 mm, igual que les unions entre els dos braços. La unió cordó inferior amb cordó inferior en necessita de 20 mm. El material amb el que estan fets els passadors és del mateix acer que l'estructura.

6 SUPORT INFORMÀTIC

Durant la realització del projecte, s'han utilitzat certs programes per a facilitar-ne o possibilitar-ne la resolució:

6.1 SAP 2000 v.17.0.0 Ultimate

El SAP 2000 és un programa de càlcul i disseny d'estructures de barres en 2D i 3D. És versàtil i senzill, i mitjançant una interfície gràfica intuïtiva permet fer anàlisis de tensions i deformades sobre els models definits.

Ens ha sigut útil per a dissenyar, dimensionar i comparar diferents gelosies i materials.

6.2 ANSYS Mechanical APDL 15.0

L'ANSYS és un programa de càlcul i simulació que permet fer prediccions sobre com un producte operarà en el món real. Bàsicament, és pot fer qualsevol comprovació mecànica.

L'hem utilitzat per a dimensionar els taulons que formen el terra de la rampa.

6.3 SOLIDWORKS 2015

El SOLIDWORKS és un programa de dibuix gràfic en 3D que ens permet fer croquis, modelar les peces, assemblar-les i dibuixar-ne els plànols.

Ens ha servit per exactament aquestes accions.

7 CÀLCULS I COMPROVACIONS

En aquest apartat enunciarem els procediments que haurem dut a terme per a complir la normativa i els requisits de seguretat. Explicarem el motiu perquè han sigut aquests els passos escollits.

7.1 Estat de càrregues

Aquest és un procediment per a determinar les càrregues a les que estarà sotmesa l'estructura un cop estigui en servei. Es tracta doncs, de fer una simulació el més ajustada possible a les condicions de treball per tal de conèixer si n'aguantarà les condicions.

Aquest estudi, contempla la càrrega associada al pes propi, la sobrecàrrega, el vent i la neu.

Consultant el document IAP-11 i CTE-DB-SE, trobem que sobre l'estudi d'estat de càrregues hi ha dos comprovacions de primera prioritat.

7.1.1 Comprovació d'estats límits de servei ELS (deformació)

Aquesta comprovació aplica uns coeficients sobre les càrregues que permeten obtenir la diferència entre la fletxa en estat permanent i la fletxa quan l'estructura està en ús (i afecten totes les càrregues).

Aquesta diferència ens permet calcular la fletxa de sobrecàrrega. La IAP-11 ens diu que aquesta ha de ser:

$$\frac{L}{1200} \geq \text{Fletxa sobrecàrrega}$$

Si és superior, la estructura no està homologada. Exclusivament no significa que estigui en perill de fallada, però és una situació de risc permetre una deformació tant elevada.

Per a fer aquesta comprovació ens ajudem del SAP 2000.

7.1.2 Comprovació d'estats límits últims ELU (STR)

Aquesta comprovació aplica uns coeficients sobre les càrregues que ens permeten calcular la pitjor combinació d'esforços que es poden donar sobre la nostra estructura en servei.

Les tensions generades per la combinació de càrregues han de ser inferiors a la resistència del material estructural.

Per a calcular la tensió generada pels esforços, s'utilitzarà el criteri de Von Mises. Si es compleix amb la expressió a continuació per a tots els punts del conjunt la estructura estarà ben dimensionada.

$$\sigma_{admissible} \geq \sigma_{Von Mises}$$

Ens ajudem del SAP 2000 per a fer aquesta comprovació.

7.2 Comprovació de resistència de les barres

En el CTE-DB-SE-A hi ha un seguit de comprovacions addicionals a la resistència dels estats últims. Aquestes verificacions es concentren en l'estudi de les barres individualment, pel que és una mirada més exhaustiva que la comprovació d'estat de càrregues que n'analitza el conjunt.

7.2.1 Resistència de la secció

Aquest anàlisi calcula la resistència en les posicions més allunyades de la secció de la barra, com els extrems i en possibles singularitats.

S'ha de realitzar la comprovació a compressió i flexió combinada.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} \leq 1$$

7.2.2 Resistència de la barra i pandeig

Es realitzarà el càlcul de la resistència de les barres a compressió i flexió. Aquesta no haurà de superar la resistència plàstica de la secció bruta ni la resistència última de la barra a pandeig.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Aquesta prova amés ens determina si la barra té o pot patir pandeig.

7.3 Comprovació de les unions amb passadors

La CTE-DB-SE-A ens especifica quina geometria mínima han de tenir els passadors en funció del gruix de la barra i viceversa.

També hi ha un seguit de comprovacions per a saber si la geometria del passador serà suficient pels esforços als que està sotmesa o és trencarà sota els esforços.

7.4 Comprovació dels nusos

La CTE-DB-SE-A ens especifica quines comprovacions hem de fer sobre els nusos per a saber si són articulats i calcular-ne les resistències de les unions.

Segons el tipus de nus i el perfil de les barres que s'uneixen, hi ha un procediment diferent per el càlcul de la resistència de la soldadura. Aquest càlcul té en compte valors com la forma de la secció, el gruix de les barres i l'angle d'unió.

7.5 Comprovació dels taulons de fusta

Els usuaris que passin per la rampa caminaran per sobre dels taulons. Es per això que s'han de considerar les mateixes càrregues que considerem en els estats de càrregues de l'estructura.

La CTE-DB-SE-M ens especifica com fer-ne els càlculs per fusta i com fer la comprovació de ELS i ELU.

Utilitzem el programa ANSYS per ajudant-se a fer-ne el càlcul.

7.6 Comprovació de bolcada (estabilitat)

Consisteix en comprovar que el centre de gravetat del conjunt estigui sempre sota la base de sustentació.

Es necessari perquè en el nostre conjunt el centre de gravetat varia segons la posició.

8 MÈTODE DE FABRICACIÓ

Buscant minimitzar costos i trobar les unions més senzilles i econòmiques possibles hem deduït que el procés de fabricació constarà de les següents etapes:

Tall → Soldat → Acabat i comprovació → Pintat

8.1 Tall

A l'estructura metàl·lica totes les barres són quadrades. Hi ha unions que s'han de soldar. Però al ser les barres quadrades tenim l'avantatge que les interseccions entre les barres són plans. Aquest fet ens permet utilitzar la tècnica del serrat per a preparar les barres per a la soldadura.

El tall per serrat inclou un gran nombre d'eines de tall. Les més obvies i bàsiques que disposen de serres o eines de control numèric que poden imitar la acció de serrar com una fresadora o una mola de desbast. Qualsevol d'aquestes és correcte.

8.2 Soldatge

Primer de tot, aquesta tècnica és possible gràcies a que el material que volem unir és acer S355J2+N i que totes les barres tenen una espessor mínima de 4 mm. Aquest acer és recomanat pel fabricant per a unions amb soldadura.

Hem evitat realitzar solapament en les barres a les unions. S'obtenen nusos més resistents però hem vist en la comprovació del càlcul de la resistència que no era necessari, i realitzar-los és més complex que un nus sense solapament.

El procés de soldatge que utilitzarem serà el GMAW o MIG welding. Són les sigles de Gas metal arc welding i Metal inert gas welding respectivament. És el mètode de soldatge més comú per a peces d'estructures. Alguns dels seus avantatges inclouen:

- Rapidesa en el procés de soldatge.
- Protecció contra la oxidació i porositat en la soldadura gràcies al gas inert (diòxid de carboni).

- La tècnica de soldatge és senzilla, rebaixant el cost respecte altres tipus de soldatges com el TIG.

8.3 Pintura

Donat que les barres no posseeixen de protecció contra la corrosió, s'haurà de donar un acabat de pintura per a protegir-lo en entorns d'exterior. L'acabat es realitzarà amb pintura plàstica distribuïda amb spray.

8.4 Comprovació

Les comprovacions que hem de realitzar sobre les barres són les següents:

- DIN 17121: Steels for general structural purposes

Comprovar que la composició química de l'acer és la correcte. S'ha de comprovar que el subministrador entregui el material segons la composició de la normativa DIN 17121.

- EN-10297-1: Toleràncies de tubs perforats

Totes les barres han de complir amb les dues següents correccions:

Diàmetre exterior $\pm 1\%$ o $\pm 0,5$ mm si $D \leq 219,1$ mm

Espesor $\pm 12\%$ o $\pm 0,4$ mm si $D \leq 219,1$ mm

- Norma UNE 14011: Qualificació de les unions soldades

El supervisor corresponent haurà de corroborar que les unions soldades compleixen amb la norma.

9 RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost d'execució per contracte puja a **Vint-i-cinc mil tres-cents quaranta vuit euros amb trenta cinc cèntims (25.348,25 €)**.

10 CONCLUSIONS

L'ús del SOLIDWORKS, el SAP 2000 i el ANSYS ha sigut essencial per al desenvolupament de la solució. Han facilitat la feina i han ajudat a agilitzar el procés de retroalimentació amb el qual hem arribat al model final.

Els resultats de les comprovacions són satisfactoris. En les comprovacions de pandeig de la barra, els valors de les barres han sigut pròxims al límit i en un cas s'ha sobrepassat considerablement. Però com hem anat repetint al llarg del projecte, hem de tenir en compte que hem afegit un valor de sobrecàrrega (5 kN/m^2). Aquest valor és l'indicat per la normativa, però és superior al que la lògica ens diu que afectarà realment a la passarel·la. Com s'ha demostrat, quan només afecta el mateix pes de la pròpia estructura els valors de les tensions són molt menors. En un entorn més real, el conjunt superaria els tests.

Respecte a les altres comprovacions, es considera que l'estructura compleix amb totes elles. La passarel·la com a estructura és viable.

El principal problema és l'estabilitat. Tot i aconseguir un pes en les seccions força reduït (aproximadament 80 kg cada una), per a què l'estructura no bolqui hem hagut d'incrementar el pes de la base. Amb el pes afegit ens dificulta la mobilitat en el transport. En aquest model la base pesa quatre tones.

Realment no ens interessa una solució on la base pesi quatre tones. El conjunt tal i com l'havíem pensat a l'inici del projecte, és per termes de geometria, no executable. Per a aconseguir que funcioni, necessitaríem poder fixar la base al terra, fet que ens obliga a que la seva instal·lació sigui lenta i tediosa. Apart hem de incloure els costos econòmics i materials de la fixació al sòl i la possibilitat que ens prohibeixin realitzar-la.

La millor opció que tenim és estudiar el model que hem explicat a l'annex12J.1. El principal canvi que hi ha amb el primer model plantejat és que les barres que s'utilitzen per al remolc fan la funció també de contrapesos. Aquesta solució ens estalvia haver de posar tant de pes a la base.

Una altra opció encara que dràstica, és replantejar-ho directament com a una passarel·la mòbil però que està pensada per estar estacionada en una zona per llargs terminis. En aquest cas,

no ens preocupa que la base sigui pesada. La rampa podria tenir dimensions més grans, però a canvi oferiria prestacions per a més cabal de vianants i més comoditat.

11 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Els documents que formen la totalitat del projecte són els següents:

- 1. Memòria i annexos
 - Memòria
 - Annex A: Croquis de l'estructura
 - Annex B: Estat de càrregues
 - Annex C: Modelització en SAP 2000
 - Annex D: Resistència de les barres
 - Annex E: Terra de taulons de fusta
 - Annex F: Nusos
 - Annex G: Passadors
 - Annex H: Pistons
 - Annex I: Materials
 - Annex J: Bolcada del conjunt
 - Annex K: Mobilitat del conjunt
 - Annex L: Mètode de fabricació

- 2. Plànols

- 3. Plec de condicions

- 4. Estat d'amidaments

- 5. Pressupost

12 BIBLIOGRAFIA

Llibres

- Luis F. R. M., Curso de estructuras metalicas de acero laminado. Colegio oficial de arquitectos de Madrid. Edició 1992.
- Wardenier, J. Perfiles tubulares en aplicaciones estructurales. CIDECT. 2001.
- Instituto técnico de la estructura del acero, Guía de diseño para edificios con estructura de acero vol. 2, 1997/2000.
- Ramon A. Estructuras de madera, diseño y cálculo. 1996-2000.

Articles i normativa vigent

- Departament de Benestar Social i Família. Requisits d'accessibilitat als establiments d'ús públic, Criteris d'aplicació de la normativa. 2011.
- Ministerio de fomento. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. 2012.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad estructural. 2009.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad estructural, Acciones en la edificación. 2009.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad Estructural, Acero. 2008.
- Código técnico de la edificación. Documento básico de Seguridad Estructural, Madera. 2009.

Adreces web

- AZO Materials. Titanium vs Carbon Steel – A Cost Comparison Study for Offshore Pipework. (<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2755>, 4 de Maig 2015).
- ROTMECH. Metal Costs. (http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Matter/Costs.html, 4 de Maig 2015).
- Grupo tubos mecánicos. Tolerancias de Suministro. (<http://tubosmecanicos.es/tolerancia-barras.html>, 6 de Maig de 2015).
- Ruukki. Standard steel grades, comparison, designations and codes. (<http://www.ruukki.com/~media/Files/Steel-products/Hot-rolled-standard->

steels/Ruukki-Hot-rolled-steels-Standard-steel-grades-comparison-designation-and-codes1.pdf, 6 de Maig 2015).

- Computers & Structures, INC. SAP 2000 v17.
(<http://www.csiamerica.com/products/sap2000>, 16 de Abril 2015).
- ANSYS. Mechanical APDL 15.0. (<http://www.ansys.com/>, 16 de Abril 2015).
- Heatherwick Studio. (<http://www.heatherwick.com/>, 20 de Abril 2015).

Deniel Ventura Segura

Girona, Setembre de 2015

ANNEX A: CROQUIS DE LA PASSAREL·LA

La nostra estructura, estarà composta de vuit parts que conformaran un octàgon. D'aquestes vuit parts, una en serà la base i les altres set parts es desplegaran en un pendent del 12% per a conformar la rampa. La base, serà la peça que estarà en contacte amb el terra, i serà lleugerament més robusta que les altres set. Aquestes últimes, seran idèntiques entre elles per a facilitar-ne la construcció.

La primera limitació i més important, és referent a la normativa D.135, referent a l'accessibilitat als establiments d'ús públic. Aquesta llei ens determinarà les dimensions mínimes i de confort que haurà de complir la nostra rampa perquè estigui homologada com una rampa per a tots els usuaris.

També existeix la normativa DB-SUA que és més restrictiva. Però donat que es sol aplicar a grans superfícies i entrades de pàrquing la descartem, ja que la nostra passarel·la s'utilitzarà en entorns amb cabal més reduït. Podem consultar les normatives a la Figura A.1.

	Decret 135/1995		CTE	
	Adaptat	Practicable	DB-SU PMR	DB-SUA Accessible
Pendents	12% < 3m 10% 3-10m 8% 10-20m	12%	10% <3m 8% 3-6m 6% 6-9m	10% <3m 8% 3-6m 6% 6-9m
Amplada	90	90	120	120
Longitud trams	20 m	10 m	9 m	9 m
Long. replà entre trams	150	120	150	150
Long. replà als extrems	150	120		120
Passamans	2 costats	1 costat	1 costat (2)	2 costats (3)
Alçada passamans	90 a 95	90 a 95	90 a 110	90 a 110 65 a 75
Sócol inferior	$h \geq 10$			$h \geq 10$

Figura A.1 - Normativa per a rampes

Els requisits que afecten la nostra estructura són els següents:

- Un pendent màxim del 12%, per a ser considerat practicable.
- Una amplada mínima de 90 m.
- Passamans a cada costat de la rampa. Altures dels passamans entre 90 mm i 110 mm o 65 mm i 75 mm.

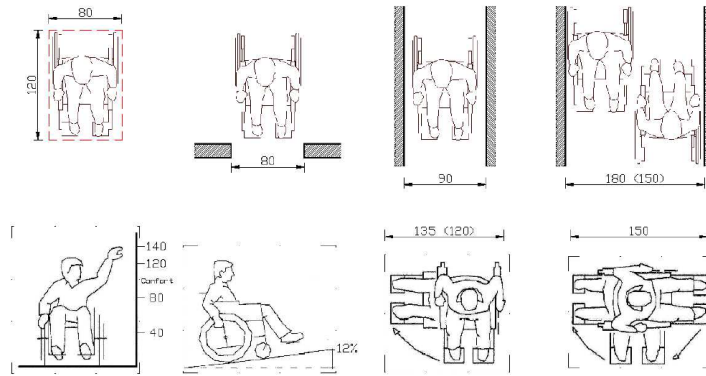


Figura A.2 - Paràmetres funcionals per a una persona amb cadira de rodes

Aquests requisits seran considerats per a dissenyar l'estructura de la rampa i es procurarà que es compleixin. Però es tracta d'una estructura singular i es prioritzarà la seva funcionalitat al confort.

A.1 Mides de la passarel·la

Complint amb les següents restriccions, hem decidit que cada una de les parts de l'estructura tingui les següents característiques:

- Longitud de 1 m.
- Amplada de 1,1 m.
- Alçada del passamans de 0,7 m.

Amb aquestes característiques, obtenim una rampa de 7 metres. Aleshores, l'alçada reglamentària que podem salvar és de:

$$\text{Pendent del } 12\% \rightarrow \tan^{-1} \alpha \rightarrow \tan^{-1} \frac{12}{100} \rightarrow \alpha = 6,84^\circ \quad \sin 6,84^\circ = \frac{x}{7} \rightarrow x = 0,834 \text{ m}$$

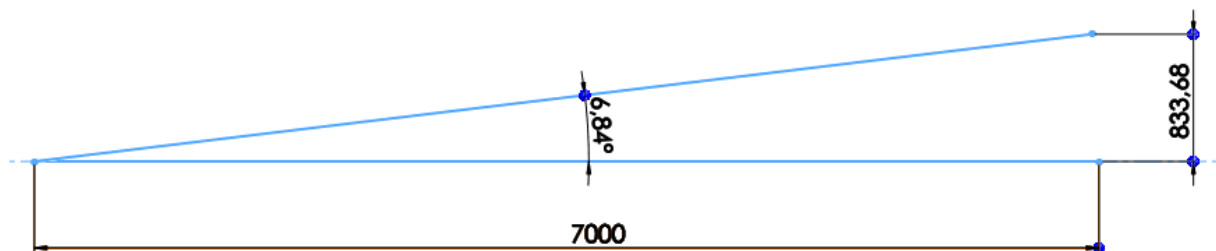


Figura A.3 - Representació gràfica (cotes en mm)

A primera vista, 0,834 m pot semblar una xifra petita per a la longitud d'una rampa. Però la majoria de rampes no passen dels 9 m (de longitud) perquè la normativa DB-SUA ho impedeix. Això significa que la màxima distància que es pot salvar amb una rampa és de 1,09 metres. Si en fem la comparativa, és una alçada acceptable.

També cal recordar, que es pot augmentar el pendent en casos on es cregui convenient. Encara que d'aquesta manera no sigui normatiu, un home en cadira de rodes que per exemple, sigui empès per un altre persona, podrà seguir utilitzant la passarel·la. En altres paraules, encara que no sigui adaptat és practicable i funcional. De la mateixa manera, els vianants sense accessibilitat reduïda (que seran la majoria), no tindran problemes.

El fet de elegir que cada secció tingui un metre de longitud ens condiona a les dimensions reflectides a la Figura A.4.

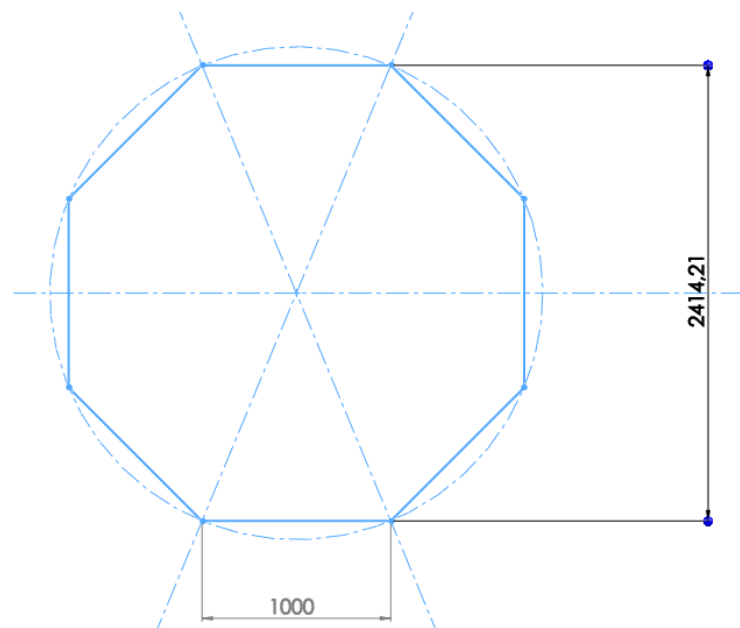


Figura A.4 - Croquis mides totals (cotes en mm)

L'àrea de cada un dels triangles de l'octàgon és l'espai que tenim per a dimensionar cada una de les seccions de l'estructura. Si l'estructura sobrepassa aquest triangle, llavors no podrem recollir el conjunt ja que no formarà un octàgon perfecte.

A.2 Tipus de secció de l'estructura

Ara que ja tenim certes mides, podem començar a plantejar la forma i tipus d'estructura que tindrà la nostra passarel·la.

El primer que ens plantegem, és quin tipus de element estructural volem utilitzar per a crear l'estructura. L'estructura del pont de Heatherwick en el qual ens basem, està format en la seva gran majoria per peces massisses d'acer. En concret s'utilitzen làmines de cert gruix per a crear les barres i unions necessàries.

Un element que està en alça actualment gràcies a les seves virtuts és la barra tubular estructural. S'han construït grans obres a partir d'aquest element.



Figura A.5 - Terminal Stuttgart



Figura A.6 - Skydome, Toronto

És un bon element per a construir un pont o rampa. Hi ha múltiples exemples de construccions d'aquestes característiques.

A.2.1 Solució escollida – Estructura amb barres rectes

Es caracteritza per ser una solució econòmica, pràctica i fàcil de construir. És una opció on l'estètica de l'estructura queda en un segon pla i dependrà sobretot de l'armadura que se li posi a sobre. Amb armadura ens referim a una peça que recobrirà l'estructura purament metàl·lica per fora. L'armadura serà preferiblement de fusta i no serà un element estructural. La seva funció serà la decoració.

Ens basem en crear l'estructura a partir de perfils de barres d'acer rectangulars, quadrats i/o rodons. Aquests tipus de barres són preferibles a barres o elements massissos. El seu

avantatge és que treballen més bé a flexió i compressió i s'obté més rigidesa, aconseguint reduir la llum de l'estructura.

Amés, tenen l'avantatge que suporten amb relativa facilitat els incendis. Al estar buits per dins fins i tot es poden utilitzar per a passar-hi cables o tub, o formigó si es necessita augmentar-ne el pes.

En aquesta solució no s'utilitzaran barres corbades. La curvatura desitjada l'hauríem d'aconseguir aplicant un procés especial a les barres, fet que incrementaria el cost del projecte. Per a més detall veure ANNEX L.:

Les peces que podem veure a la Figura A.7 hauran de complir amb les dimensions **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** recollides l'apartat anterior.

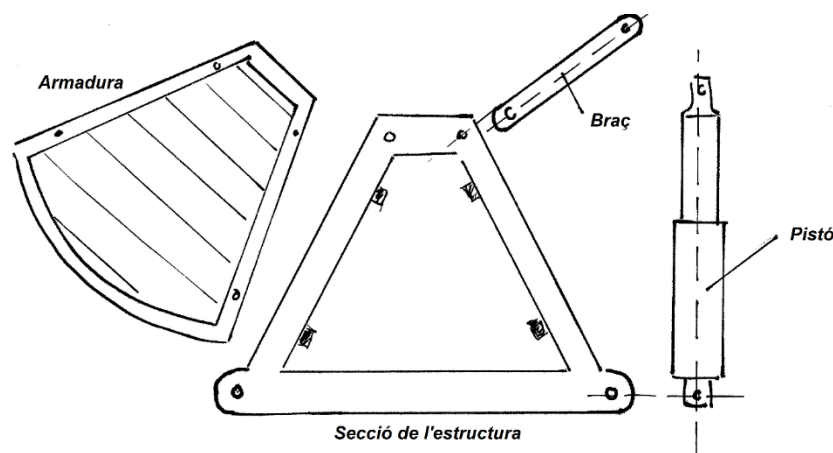


Figura A.7 - Croquis estructura amb barres rectes

En l'apartat A.1, hem vist que el passamanys estava limitat a una altura d'entre 0,65m i 0,7m. Amb aquesta informació, procedim a trobar algunes dimensions de les parts mencionades a la Figura A.7.

La Figura A.8 ens mostra algunes de les dimensions dels elements anteriors. S'ha mantingut la longitud de la base d'un metre. També hem decidit algunes mesures més.

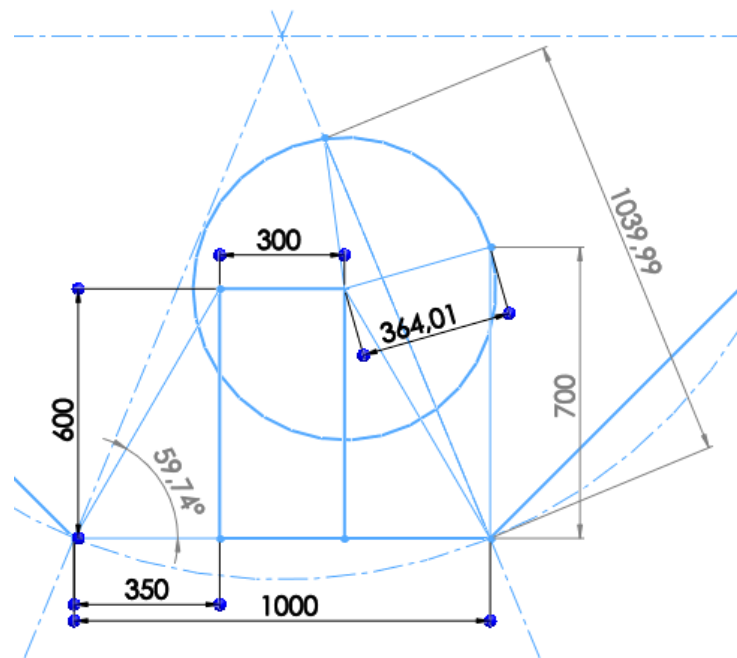


Figura A.8 - Distàncies entre unions (en mm)

Hem decidit que els pistons, braç i cordó superior facin de barana. Per això l'alçada del pistó serà de 700 mm i la del cordó superior de 600 mm. El braç variarà des de 600 mm a 700 mm d'alçada. En conjunt, aconseguim que la barana sigui de 0,6 m a 0,7 m. També hem decidit que la longitud del cordó superior sigui de 0,3 m.

Els pistons són els responsables de fer que el conjunt es replegui o s'estengui. Quan la passarel·la està estesa, els pistons estaran recollits i en posició vertical. Aquests pistons faran 0,7 m. En la figura, podem veure una cota amb el valor de 700 (mm), indicant on està el pistó en posició d'extensió. Quan està recollit, el pistó coincidirà amb la recta que intersecta el centre del octàgon.

L'extrem del pistó està connectat amb un braç a la secció de l'estructura. El braç té una longitud fixe. Quan el pistó es mou arrossega el braç i junts segueixen la circumferència (de radi 364,01 mm). El punt d'intersecció entre la circumferència i la posició de repòs del pistó ens determina la longitud que tindrà aquest quan estigui estès (1039,99 mm).

Aquestes mides són les distàncies entre les unions. Les mides trobades no són modificables. A partir d'ara treballarem amb aquestes dades

A.2.2 Solució alternativa 1 – Estructura amb barres corbades

Per augmentar l'estètica de l'obra, és construeix de forma que quan estigui recollida, les barres corbes facin una circumferència.

El principal inconvenient resulta en corbar les barres. És molt més pràctic aconseguir la forma rodona en l'armadura que cobreix l'estructura que en l'estructura mateixa. Si bé el fet de corbar les barres en certs llocs ens pot ajudar a augmentar la resistència de les mateixes, el cost de obtenir una curvatura concreta eleva en gran quantitat el seu preu. La cosa canviaria si haguéssim de construir-les en sèrie. Ens és molt més fàcil aconseguir la forma de circumferència unint una armadura amb la curvatura.

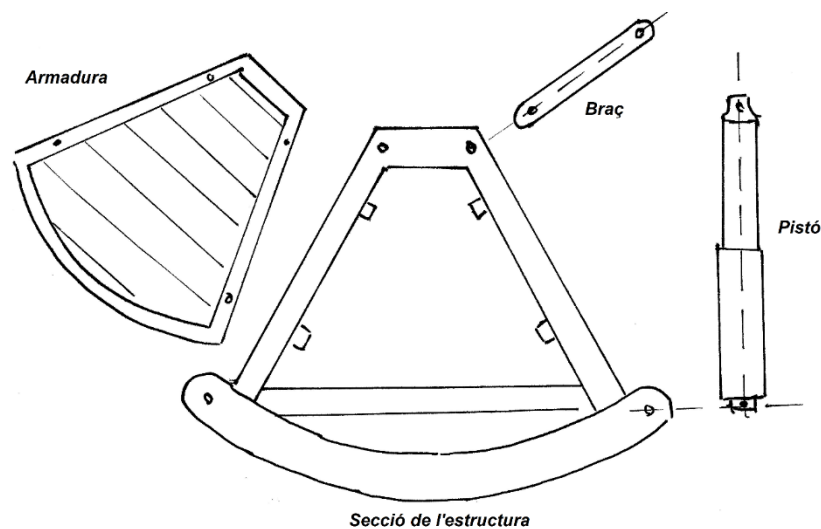


Figura A.9 - Croquis estructura amb barra corbada

A.2.3 Solució alternativa 2 – Estructura amb dos carrils i pistons al centre

Una manera de reduir costos por ser disminuint el nombre de pistons necessaris. Per aconseguir-ho, aquest disseny només té un pistó per a cada secció de l'estructura.

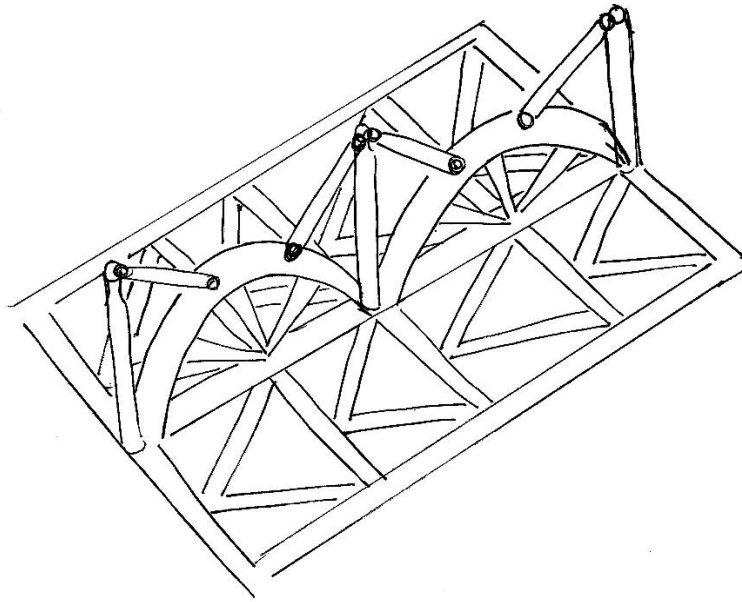


Figura A.10 - Croquis estructura dos carrils

Com a inconvenients, ens veiem obligats a dividir la rampa en dos carrils. Podríem aprofitar-ho per obtenir dos sentits de circulació. Però amb la limitació d'un mínim de 900 mil·límetres d'espai per carril, acabariem amb una amplada pròxima als 2,5 metres. Evidentment implicaria augmentar el nombre de materials i costos.

Aquest disseny ens seria útil si planegéssim una estructura enfocada a grans cabals de gent i més estàtica amb menys mobilitat.

A.3 Tipus de bases

La base tindrà similituds amb una de les parts de l'estructura de la passarel·la. Però com és lògic, haurà de ser lleugerament més robusta. Amés, concedirà unes funcionalitats extres a l'estructura.

La base té tres propòsits:

- Aguantar els esforços de la passarel·la.
- Proporcionar estabilitat i assegurar que l'estructura no bolqui quan s'està desplegant o en repòs.
- Atorgar mobilitat al conjunt.

A.3.1 Solució escollida - Base amb rodes i barres per ser remolcada

Com es pot observar a la Figura A.11, la base té un disseny similar a una de les parts de l'estructura. La principal diferència és que te enganxat a la base un reforç amb unes barres que ens serviran per a remolcar el conjunt.

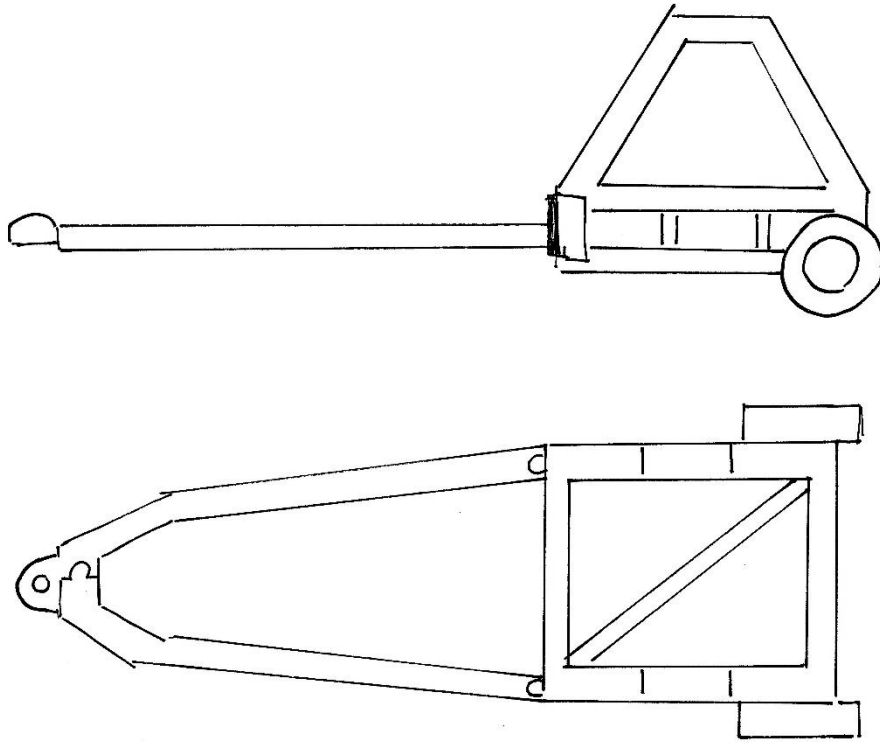


Figura A.11 - Croquis de la base

Es pot observar que el conjunt tindrà més facilitat per bolcar en la direcció on es desplega l'estructura. Per tant, si es dona la condició de bolcada les barres s'enlairaran. Podem veure amb més detall el fenomen de la bolcada en el conjunt en l'apartat ANNEX J:.

Aquest disseny ens facilita el transport del conjunt amb un vehicle automòbil civil que disposi d'una bola per a remolcar. Per a fer-ho possible, disposem de dues rodes a la part posterior de la base. A l'extrem de les barres, hi tenim un connector per a una bola de remolc. Si es creu necessari, es pot estudiar instal·lar a cadascuna de les quatre potes de la base un cargol de potència manual que ens permet regular el nivell de la pota. Mitjançant el seu ús, es podrà carregar i descarregar d'una bola de remolc. Ho podem veure amb més detall al ANNEX K:.

En aquest projecte, no s'especificarà les dimensions de les rodes ni els suports necessaris per a acoblar-les així com els cargols de potència de les potes, ja que es centra en el disseny de estructural.

ANNEX B: ESTAT DE CÀRREGUES

Aquest és un procediment per a determinar les càrregues a les que estarà sotmesa l'estructura un cop estigui en servei. Es tracta doncs, de fer una simulació el més ajustada possible a les condicions de treball per tal de conèixer si n'aguantarà les condicions.

Per a la realització d'aquest estudi, consultarem les següents normatives:

- IAP-11. De títol "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera", defineix un seguit de pautes a seguir aprovades pel Ministeri de Foment. En concret, ens interessa l'apartat destinat al disseny de passarel·les.
- CTE-DB-SE "Documento Básico SE Seguridad Estructural".
- CTE-DB-SE-AE "Documento Básico SE Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación". Dona les instruccions per a projectes d'obra civil com el nostre.
- CTE-DB-SE-A "Documento Básico SE Seguridad Estructural – Acero". Dóna un seguit de consideracions i verificacions per a totes les estructures d'acer que haurem de seguir per a assegurar-nos que l'estructura sigui segura.

En cas de desambiguació entre les normatives, aplicarem la més restrictiva.

Les càrregues es poden dividir en:

- **Accions permanents (G)**
 - **Pes Propi**
- **Accions variables (Q)**
 - **Sobrecàrrega d'ús**
 - **Neu**
 - **Vent**

Hi ha més tipus d'accions, però aquestes són les principals i les que afectaran a la nostra estructura.

B.1 Pes propi

És la càrrega derivada del pes del material de l'estructura. Hi considerem tant l'acer com el que hi anirà a posteriori a sobre.

B.1.1 Pes de la secció principal

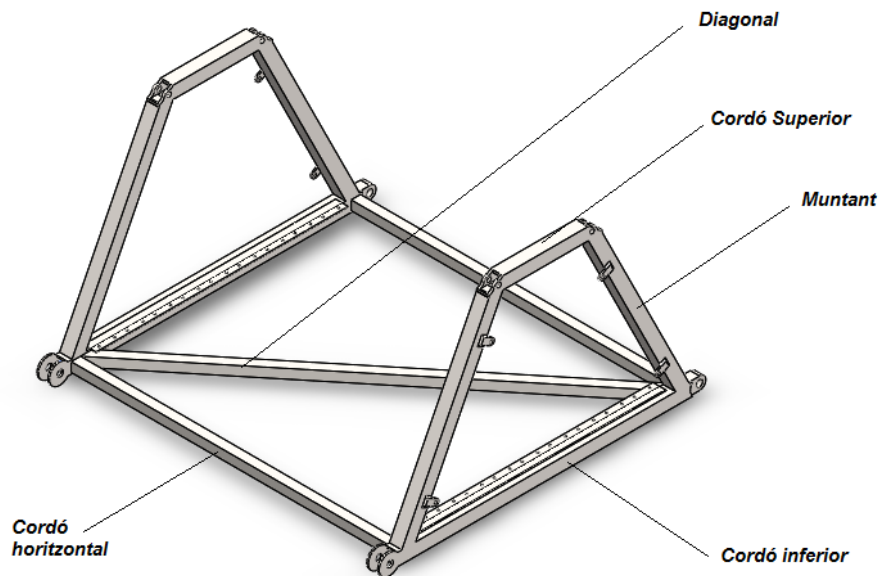


Figura B.1 - Representació en Solidworks de la secció

La densitat de l'acer escollit és $\rho=7850 \text{ g/dm}^3=7850 \text{ kg/m}^3$.

Gelosia (planta)	Secció (mm ²)	Àrea (m ³)	Pes/longitud (kg/m)	Longitud (m)	Pes (kg)
2 cordó inferior	40x40x5	$7 \cdot 10^{-4}$	5,495	2x1	10,99
2 horitzontal	30x30x5	$5 \cdot 10^{-4}$	3,925	2x1,1	8,635
1 diagonal	30x30x5	$5 \cdot 10^{-4}$	3,925	1,4213	5,579
TOTAL					25,204

Taula B-1 - Gelosia (planta)

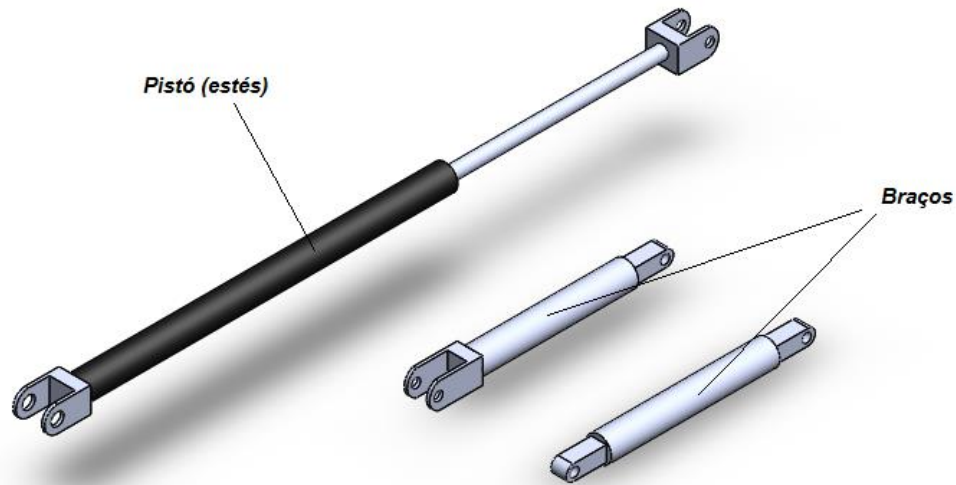


Figura B.2 - Representació del pistó i braç en Solidworks

Gelosia (vertical)	Secció (mm ²)	Àrea (m ³)	Pes/longitud (kg/m)	Longitud (m)	Pes(kg)
4 muntants	40x40x5	7·10 ⁻⁴	5,495	4x0,6764	14,867
2 cordó superior	40x40x8	1·10 ⁻³	8,038	2x0,3	4,823
4 braços	40x5	5,5·10 ⁻⁴	4,312	4x0,364	6,278
2 pistons	60x4	7,04·10 ⁻⁴	5,526	2x0,7	7,736
TOTAL					33,704

Taula B-2 - Gelosia (vertical)

$$Pes\ combinat = 25,204\ kg/m + 33,704\ kg/m = 58,908\ kg/m$$

Aproximadament, tindrem uns 412,356 kg d'acer només contant les set seccions d'estructura.

Passat a càrregues serà:

$$58,908\ \frac{kg}{m} \times \frac{9,81\ N}{1\ kg} \times \frac{1\ kN}{1000\ N} = 0,578\ \frac{kN}{m}$$

Com que tenim dos barres a la base, la càrrega s'ha de dividir en dos. Finalment la càrrega serà de:

$$Càrrega\ de\ l'estructura\ principal = 0,289\ kN/m$$

B.1.2 Pes del tauler i l'armadura

Els taulons estan fets amb una fusta serrada de classe C30. A l'ANNEX E: podem veure d'on surten els valors de la expressió següent. Multiplicarem el valor per 9 perquè són tots els taulons que hi ha en una part de l'estructura:

$$G_{pes\ propi\ taulons} = V \cdot \rho = 9 \cdot 3,96 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 460 kg/m^3 \cdot \frac{9,81 N}{1 kg} \cdot \frac{1 kN}{1000 N} = 0,161 kN/m$$

Com que tenim dos barres a la base, la càrrega s'ha de dividir en dos. Finalment la càrrega serà de:

$$G_{pes\ propi\ taulons} = 0,0805 kN/m$$

L'armadura en canvi, estarà feta d'un conglomerat de fusta. Utilitzem aquest material perquè no és un material estructural i el seu ús serà el de augmentar la bellesa de la passarel·la. Trobem les propietats de la fusta en la Taula B-3.

Tabla E.9 Tableros de fibras duros y semiduros estructurales. Valores de las propiedades

Propiedades	Duros (UNE EN 622-2) Para su uso en ambiente húmedo			Semiduros (UNE EN 622-3) Para su uso en ambiente seco		
	Espesor nominal, t _{nom} , en mm			Espesor nominal, t _{nom} , en mm		
	≤ 3,5	> 3,5 a 5,5	> 5,5	≤ 10	> 10	
Resistencia (característica), en N/mm²						
- Flexión	f _{m,p,k}	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
- Tracción	f _{t,p,k}	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
- Compresión	f _{c,p,k}	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
- Cortante, en el grueso	f _{v,p,k}	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
- Cortante, en el plano	f _{r,p,k}	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez (media), en N/mm²						
- A flexión	E _{m,p}	5000	4800	4600	3100	2900
- A tracción	E _{t,p}	5000	4800	4600	3100	2900
- A compresión	E _{c,p}	5000	4800	4600	3100	2900
- A cortante, en el grueso	G _{v,p}	2100	2000	1900	1300	1200
Densidad, en kg/m³						
- Característica	ρ _{p,k}	900	850	800	650	600

Taula B-3 - Valors de les propietats de la fusta

Cada part de l'estructura tindrà dues plaques de l'armadura que el recobriran. Aquestes plaques seran de un cm de gruix. Les dimensions les podem veure al plànol de l'armadura.

$$G_{pes\ armadura} = 2 \cdot V \cdot \rho = 2 \cdot 5,547 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 600 kg/m^3 \cdot \frac{9,81 N}{1 kg} \cdot \frac{1 kN}{1000 N} = 0,065 kN/m$$

$$G_{pes\ armadura} = 0,0325\ kN/m$$

B.1.3 Pes conjunt

Cada secció acabarà pesant 81,957 kg. Les set seccions juntes sumen un total de 573,7 kg.

B.2 Acció del vent

Com hem dit anteriorment, la rampa està enfocada perquè sigui mòbil. Ens interessa que pugui ser aprofitada en qualsevol àrea de Catalunya i Espanya. No només això, sinó que també s'utilitzi indiferentment tant si es tracta d'una zona pavimentada en una ciutat, una esplanada al costat de la costa o un poble de muntanya a l'hivern (s'exclouen localitats a més de 2000 m d'alçada).

Per a aquest motiu, hem de considerar les pitjors condicions en el territori. La secció 4.2 de la IAP-11 ens facilita els passos per a obtenir la força que exercirà el vent sobre l'estructura.

B.2.1 Velocitat bàsica del vent

La definició de velocitat bàsica del vent és la velocitat mitjana del vent per a un període de 10 minuts amb un retorn T de 50 anys. És indiferent la direcció i època de l'any. Aquesta velocitat està mesurada en una zona oberta i plana a una alçada de 10 m sobre el nivell del terra.

La velocitat bàsica del vent es pot obtenir a partir de la següent expressió.

$$v_b(T) = c_{dir}c_{season}v_{b,0} \quad (\text{Eq.1})$$

On v_b és la velocitat bàsica del vent per a un retorn de 50 anys (en m/s). Els factors c_{dir} i c_{season} en el nostre cas es poden considerar de valor 1. El factor $v_{b,0}$ és la velocitat bàsica fonamental del vent (en m/s), que la podem obtenir de mapes de isocotes del vent. Donat que la nostra estructura no estarà tota la seva vida útil a la intempèrie, no cal considerar un retorn més gran de 50 anys. Així doncs, en el nostre cas $v_b = v_{b,0}$. Llavors, podem obtenir el valor v_b directament d'un dels mapes isostàtics de vent.

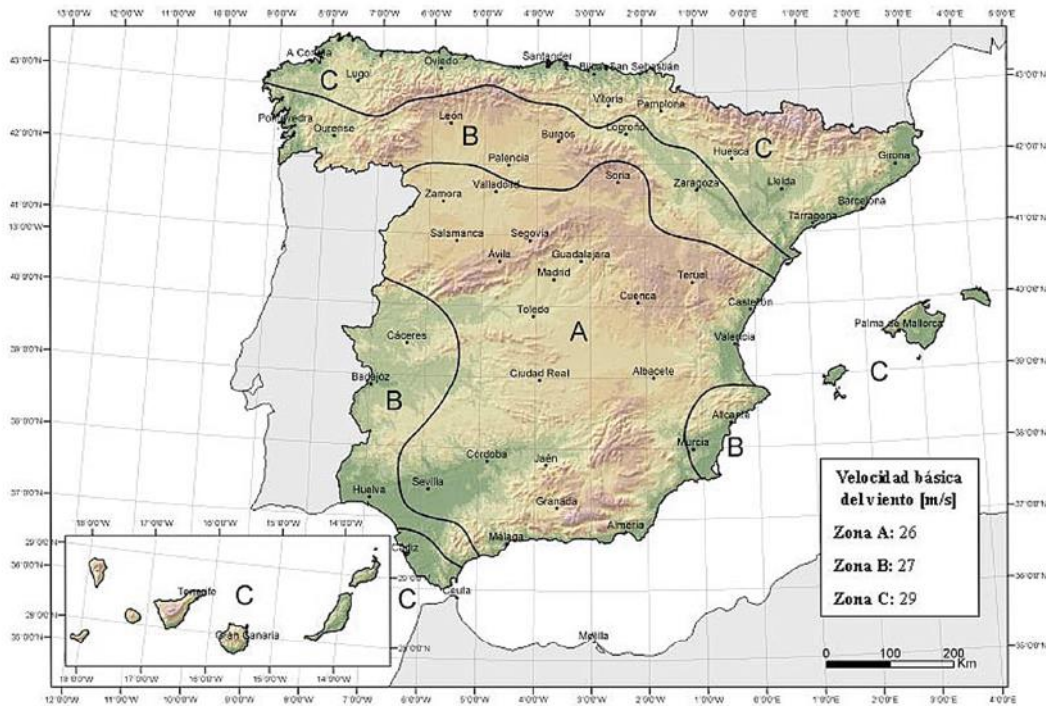


Figura B.3 - Mapa de isocotes del vent en territori espanyol

El valor de v_b és llavors de 29 m/s.

B.2.2 Velocitat mitjana del vent

La velocitat mitjana del vent $v_m(z)$ dependrà de l'alçada, rugositat del terreny, topografia i velocitat bàsica del vent. Es pot determinar amb la següent expressió:

$$v_m(z) = c_r(z)c_0v_b(T) \quad (\text{Eq.2})$$

$c_r(z)$ és el factor de rugositat dependent de l'alçada, s'obté a partir de:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ per } z \geq z_{min} \quad (\text{Eq.3})$$

c_0 és el valor de topografia, per al nostre cas de valor 1.

z és l'alçada on s'aplica la força del vent. Fem una aproximació i agafem de valor 1 m.

k_r és el factor del terreny, valor tabulat.

z_0 és la longitud de la rugositat, valor tabulat.

z_{min} és l'altura mínima, valor tabulat.

Alguns d'aquests valors es poden trobar en taules. Però abans d'obtenir-los, hem de veure quin tipus de zona afecta la nostra passarel·la. Agafarem el cas més crític dels 5 tipus de zona que hi ha, on hi hagin els vents més forts. Aquesta zona és la *Tipus 0*, que es tracta de zona costera o exposada a mar obert.

TIPO DE ENTORNO	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
0	0,156	0,003	1
I	0,170	0,01	1
II	0,190	0,05	2
III	0,216	0,30	5
IV	0,235	1,00	10

Taula B-4 - Coeficients k_r , z_0 i z_{min}

Ja disposem de totes les dades necessàries per al càlcul.

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \times \ln\left(\frac{1}{0,003}\right) = 0,906$$

$$v_m(z) = 0,906 \times 1 \times 29 \text{ m/s} = 26,28 \text{ m/s}$$

B.2.3 Força del vent

La força del vent es pot calcular amb l'expressió a continuació:

$$F_w = \left[\frac{1}{2} \rho v_b^2(T) \right] c_e(z) c_f A_{ref} \quad (\text{Eq.4})$$

On:

F_w és la força horitzontal del vent (en N).

$\frac{1}{2} \rho v_b^2(T)$ és la pressió de la velocitat bàsica del vent (en N/m²).

ρ és la densitat de l'aire, a nivell de mar de 1,25 kg/m³.

$c_e(z)$ és el coeficient d'exposició en funció de l'altura, calculat de la forma següent:

$$c_e(z) = k_r^2 \left[c_o^2 \ln^2 \left(\frac{z}{z_0} \right) + 7k_l c_o \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] \text{ per a } z \geq z_{min} \quad (\text{Eq.5})$$

c_f és el coeficient de força segons la forma de l'element.

A_{ref} és la projecció de l'àrea sobre el pla perpendicular a la direcció del vent (en m²).

k_l és el factor de turbulència, de valor 1.

Assumirem un seguit de simplificacions. L'àrea de referència, ens serà suficient amb considerar-la com a un rectangle uniforme. És innecessari considerar els forats que hi ha, ja que el perfil exposat en realitat és força petit.

L'àrea de referència tindrà un valor aproximat de 0,783 m². És l'àrea que ocupa l'estructura.

$$c_e(z) = k_r^2 \left[c_o^2 \ln^2 \left(\frac{z}{z_0} \right) + 7k_l c_o \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] = 0,156^2 \left[1^2 \ln^2 \left(\frac{1}{0,003} \right) + 7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \ln \left(\frac{1}{0,003} \right) \right] = 1,81$$

El valor del coeficient c_f el podem obtenir a partir de la Figura B.4.

	$\frac{B}{h}$	$\leq 0,2$	0,4	0,6	0,7	1,0	2,0	5,0	$\geq 10,0$
	c_f	2,0	2,2	2,35	2,4	2,1	1,65	1,0	0,9
$c_f = 1,4$			sección circular con superficie lisa y tal que: $\varnothing v_b(T) \sqrt{c_e(z)} > 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $c_f = 0,7$		sección circular con superficie rugosa ⁽¹⁾ , o lisa tal que: $\varnothing v_b(T) \sqrt{c_e(z)} < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $c_f = 1,2$				
$c_f = 1,8$	$c_f = 1,6$	$c_f = 1,45$	$c_f = 1,3$						
$c_f = 1,6$	$c_f = 2,2$	$c_f = 2,0$							

Figura B.4 - Coeficients c_f

Les barres longitudinals tenen un perfil de 40x40 mm. Per això el valor de c_f és 2,1.

$$F_w = \left[\frac{1}{2} \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (26,28 \text{ m/s})^2 \right] 1,81 \times 2,1 \times 0,783 \text{ m}^2 = 1,285 \text{ kN/m}^2$$

Ens interessa convertir-ho a càrregues puntuals per aplicar-ho en els nusos. Com que la distància de nus a nus és de un metre, obtindrem:

$$Q_{vent} = 1,285 \text{ kN}$$

B.3 Acció de la neu

La sobrecàrrega de la neu en general només es té en compte en zones d'alta muntanya. Normalment es realitza un estudi de la zona específica on es construirà la estructura. Però per a cotes inferiors a 2200 metres, podem trobar el valor tabulat per comarques. Agafarem el cas més crític d'entre totes les possibilitats.

B.3.1 Sobrecàrrega de neu en terrenys horitzontals

Utilitzem la taula que ens proporciona la IAP-11 per a trobar el valor s_k que serà necessari per calcular la sobrecàrrega de neu.

CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m ²]	CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m ²]	CAPITAL	ALTITUD [m]	s_k [kN/m ²]
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	San Sebastián	0	0,3
Ávila	1130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Ourense	130	0,4	Valencia	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria	520	0,7
Cuenca	1010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Taula B-5 - Valors de s_k a Espanya

D'entre les opcions que hi ha a Catalunya, el valor més elevat és el de Lleida amb un valor de $s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$.

B.3.2 Sobrecàrrega de neu en taulers

Podem calcular q_k amb l'expressió a continuació:

$$q_k = 0,8 \times s_k \quad (\text{Eq.6})$$

Substituint:

$$q_k = 0,8 \times s_k = 0,8 \times 0,5 \frac{kN}{m^2} = 0,4 \frac{kN}{m^2}$$

Hem de convertir aquesta càrrega en lineal. Per fer-ho hem de multiplicar-ho per l'àrea tributària que suporta cada barra longitudinal, que com hem vist anteriorment és de 0,55 m.

$$q_k = 0,4 \frac{kN}{m^2} \times 0,55 m = 0,22 \frac{kN}{m}$$

No considerem l'acumulació de neu, ja que això només és dona en entorns amb moltes nevades i on hi hagi algun factor que compacti la neu caiguda, com un llevaneus.

B.4 Sobrecàrrega d'ús

La sobrecàrrega d'ús és la càrrega extra considerada per la utilització de l'estructura. En el nostre cas, deguda al pas dels vianants.

Tant la normativa IAP-11 com la CTE-DB-SE-AE determinen quina és aquesta sobrecàrrega. Però en el cas de la IAP-11, és exclusiva per a passarel·les. En canvi a la CTE-DB-SE-AE s'agrupen un conjunt de zones públiques amb característiques similars. És per això que elegim la IAP-11.

L'apartat, especifica que per a la determinació dels efectes estàtics de sobrecàrrega d'ús deguda als vianants, s'haurà de considerar l'acció simultània de les càrregues següents:

- Una càrrega vertical uniformement distribuïda amb un valor de 5 kN/m².

- Una força horitzontal longitudinal amb valor igual al 10% del total de la càrrega vertical uniformement distribuïda, actuant en l'eix del tauler al nivell del paviment.

Cal fer una observació. El valor d'aquesta sobrecàrrega està pensat per a passarel·les amb una amplada superior i un cabal de persones major. En circumstàncies normals, no és adequat aplicar-la en un tipus d'estructura així. Però aplicant-la, ens assegurem que estigui sota normativa. No només això, sinó que aquesta sobredimensió ens contarà com a factor de seguretat extra i ens en garantirà la integritat sobre possibles errades.

Per a poder aplicar les càrregues, primer ens hem d'assegurar que siguin lineals. D'aquesta manera les podrem integrar en el model d'estats de càrregues aplicant-les a les barres longitudinals.

El primer pas que hem de fer, és conèixer l'àrea de servei de la nostra base. Multiplicant-la per la càrrega uniformement distribuïda i per l'àrea tributària que s'emporta cada una de les barres obtindrem el que desitgem.

- Àrea tributària: 0,55 m.
- Àrea de servei: 1,1 m x 1 m = 1,1 m².
- Càrrega distribuïda: 5 kN/m².

$$\text{Sobrecàrrega lineal} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1,1 \text{m}^2 \times 0,5 \text{m} = 2,75 \text{kN/m}$$

El valor de la força horitzontal longitudinal és el 10% del total de les càrregues verticals. Això inclou els altres grups de càrregues. En comptes d'aplicar-la com una càrrega lineal, l'aplicarem als nusos convertint-la en puntual. Només farà falta multiplicar per un metre (la longitud de la base).

$$\begin{aligned} \text{Sobrecàrrega horitzontal} &= 0,1 \times (G_{\text{pes propi}} + Q_{\text{neu}} + Q_{\text{sobrecàrrega lineal}}) \times 1 \text{m} \\ &= 0,1 \times (0,289 \text{kN/m} + 0,22 \text{kN/m} + 2,75 \text{kN/m}) \times 1 \text{m} = 0,326 \text{kN} \end{aligned}$$

B.5 Combinacions d'accions (ELS i ELU)

Consultant el document IAP-11, trobem que sobre l'estudi d'estat de càrregues hi ha dos comprovacions d'alta importància, que destaquen sobre la resta:

- Comprovació d'estats límits de servei ELS (deformació)
- Comprovació d'estats límits últims ELU (STR)

Coneixem les càrregues que afectaran el nostre projecte. Però les accions que hem vist poden aparèixer conjuntament, i fins i tot sobrepassar els valors estimats. Aquest apartat s'encarrega d'esbrinar quins grups d'accions són els que units ens causen la hipòtesis més crítica.

Hi ha diverses comprovacions ELU i ELS. En concret, realitzarem la ELU de trencament (STR) i la ELS d'estat límit de deformació. Ambdues utilitzen la mateixa expressió, amb els coeficients diferents.

L'expressió per a combinar les accions en ambdós anàlisis és la següent:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$$

Equació 1 - Combinació d'accions en situació transitòria

$G_{k,j}$ és el valor característic de cada acció permanent

$G_{k,m}$ és el valor característic de cada acció permanent de valor no constant

$Q_{k,1}$ és el valor característic de l'acció variable dominant

$\varphi_{0,i} Q_{k,i}$ és el valor de la combinació de les accions variables concomitants amb l'acció variable dominant

γ_G, γ_Q són els coeficients parcials

S'hauran de realitzar tantes combinacions com sigui necessari, considerant en cadascuna d'elles, una de les accions variables com a dominant i les altres com a concomitants. El mateix article ens descarta algunes de les combinacions, ja que no són probables.

- Quan es consideri l'acció del vent com a dominant, no es tindrà en compte la sobrecàrrega d'ús.
- No es considerarà l'acció simultània de la càrrega de neu i la sobrecàrrega d'ús.

Els coeficients de simultaneïtat de les accions són els següents:

ACCIÓN		ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales	Vehículos pesados	0,75	0,75	0
		Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 ⁽¹⁾
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales	0	0	0	
	gr 3, Peatones	0	0	0	
	gr 4, Aglomeraciones	0	0	0	
Sobrecarga de uso en pasarelas		0,4	0,4	0	
Viento	F_{wk}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k	0,6	0,6	0,5	
Nieve	$Q_{Sn,k}$	0,8	0	0	
Acción del agua	W_k	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_c	1,0	0	1,0	

Figura B.5 - Coeficients de simultaneïtat

Els valors dels coeficients parcials per a l'anàlisi ELU estan tabulats a la següent il·lustració:

ACCIÓN		EFECTO	
		FAVORABLE	DESFAVORABLE
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,35
	Carga muerta	1,0	1,35
Permanente de valor no constante (G*)	Pretensado P_1	1,0	1,0 / 1,2 ⁽¹⁾ / 1,3 ⁽²⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,35
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,35
	Empuje del terreno	1,0	1,5
	Asientos	0	1,2 / 1,35 ⁽³⁾
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,35
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,5
	Acciones climáticas	0	1,5
	Empuje hidrostático	0	1,5
	Empuje hidrodinámico	0	1,5
	Sobrecargas de construcción	0	1,35

Figura B.6 - Coeficients parcials en anàlisi ELU γ_G, γ_Q

I per a l'anàlisi de ELS són:

ACCIÓN		EFECTO	
		FAVORABLE	DESFAVORABLE
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,0
	Carga muerta	1,0	1,0
Permanente de valor no constante (G^*)	Pretensado P_1	0,9 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,0
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,0
	Empuje del terreno	1,0	1,0
	Asientos	0	1,0
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,0
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,0
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,0
	Acciones climáticas	0	1,0
	Empuje hidrostático	0	1,0
	Empuje hidrodinámico	0	1,0
	Sobrecargas de construcción	0	1,0

Figura B.7 - Coeficients parcials en anàlisi γ_G, γ_Q

Tenim 4 accions. Pes propi, sobrecàrrega, vent i neu.

Això ens dona un nombre de 16 combinacions. En realitat, aquest nombre es pot reduir fàcilment. D'aquestes 16 combinacions, la meitat s'eliminen perquè només considerarem els coeficients parcials desfavorables. Dels restants, la normativa ens diu que no combinem dominància de neu o vent amb sobrecàrrega. I observant que la sobrecàrrega d'ús és força vegades més gran que la de neu, deduïm que cap combinació on la sobrecàrrega de neu sigui la variable dominant, serà més crítica que una on la sobrecàrrega ho sigui.

En resum, de totes les combinacions possibles, en realitat només n'hi ha dos que es barallen per ser la més crítica.

$$\text{Combinació 1: } G_{pes\ propi} \times \gamma_G + Q_{ús} \times \gamma_{Q,1} + Q_{neu} \times \gamma_{Q,1} \varphi_{0,i} + Q_{vent} \times \gamma_{Q,1} \varphi_{0,i}$$

$$\text{Combinació 2: } G_{pes\ propi} \times \gamma_G + Q_{neu} \times \gamma_{Q,1} \varphi_{0,i} + Q_{vent} \times \gamma_{Q,1}$$

Com que el vent és una component horitzontal, no podem comparar-les directament i dir quina de les dues farà casos més crítics. S'hauran de comprovar les dues.

B.5.1 Comprovació d'estats límits de servei ELS (deformació)

Per a aplicar la ELS, utilitzarem la següent expressió:

$$\text{Combinació 1: } G_{pes\ propi} \times 1 + Q_{ús} \times 1 + Q_{neu} \times 1 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1 \times 0,3$$

Hem de verificar que la fletxa vertical màxima corresponent al valor freqüent de la combinació d'accions no superi el valor de $L/1200$. És a dir:

$$\frac{L}{1200} \geq \text{Fletxa sobrecàrrega}$$

Equació 2 - Condició ELS deformació

B.5.2 Comprovació d'estats límits últims ELU (STR)

Per fer aquesta comprovació, haurem de mirar les dues combinacions de ELU següents:

$$\text{Combinació 1: } G_{pes\ propi} \times 1,35 + Q_{ús} \times 1,35 + Q_{neu} \times 1,5 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1,5 \times 0,3$$

$$\text{Combinació 2: } G_{pes\ propi} \times 1,35 + Q_{neu} \times 1,5 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1,5$$

El criteri per a saber si es superarà aquest test és:

$$\sigma_{admissible} \geq \sigma_{Von\ Mises}$$

ANNEX C: MODELITZACIÓ EN SAP 2000

Per a dimensionar seguirem el procés exposat a la memòria en l'apartat 4 PROCÉS DE DIMENSIONAMENT. Bàsicament es tracta de fer iteracions, essent cada iteració una aproximació cap al model final. Es tracta que cada iteració s'obtingui una solució més definida i exacte del que necessitem.

A priori, desconeixem quina secció necessitem i que serà sobredimensionat. Només coneixem que serà un perfil tubular. Així doncs fem una primera ullada a un model simplificat amb uns perfils predefinits iguals per a totes les barres.

C.1 Model simplificat de la passarel·la

El primer que hem de fer un cop estem en el SAP 2000, és construir la graella per a poder dibuixar la gelosia. Per a fer-ho, hem d'introduir tots els valors on intersecten les barres. A la figura Figura A.8 podem veure com estan representades en l'eix X per a la primera de les parts de l'estructura.

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.
1		0,	Primary	Show	End
2		0,35	Primary	Show	Start
3		0,65	Primary	Show	Start
4		1,	Primary	Show	Start

Figura C.1 - Introducció dels valors en la graella SAP 2000

La graella completa la podem veure a la figura Figura C.2.

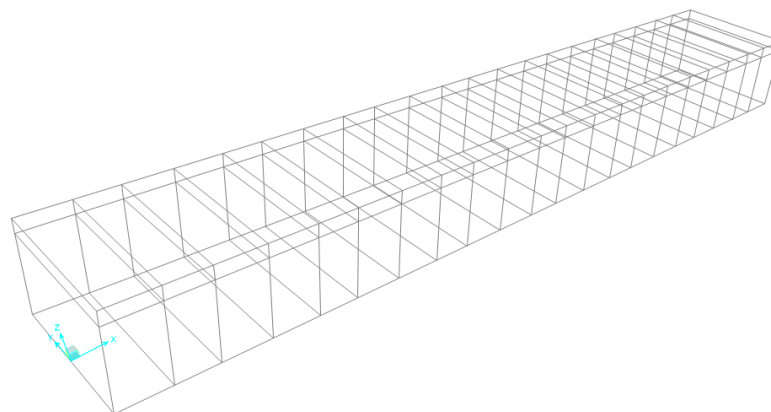


Figura C.2 - Graella SAP 2000

També hem de canviar el sistema de coordenades local respecte el global, perquè recordem, la passarel·la estarà inclinada a 7°.

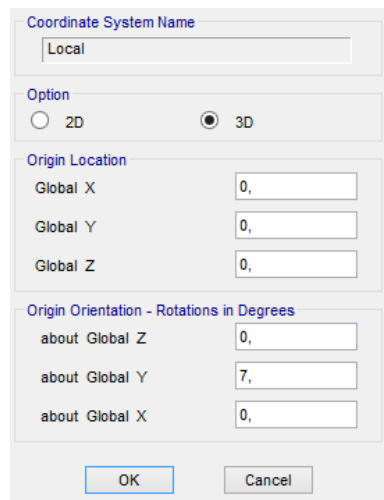


Figura C.3 - Creació graella local SAP 2000

Com hem dit, la gelosia en aquesta primera iteració estarà composta d'un sol tipus de secció. Emplenem la graella de barres seguint la graella.

Hem de fixar amb restriccions la primera part de l'estructura i la última. La primera estarà fixada a la base mentre que l'altre romandrà suportada sobre una superfície. És a dir, la part fixada a la base tindrà restringit el moviment en totes direccions mentre que l'altre costat tindrà l'eix X lliure.

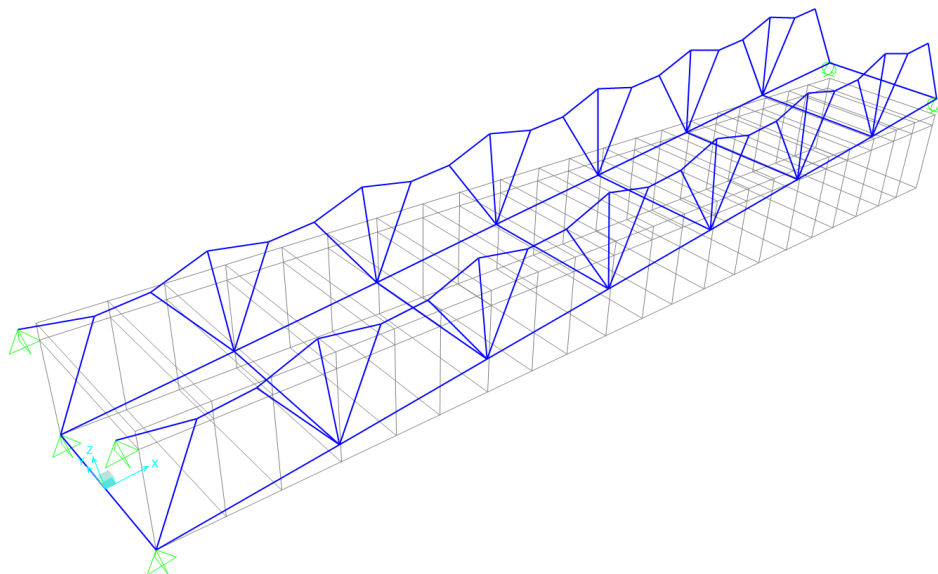


Figura C.4 - Definició de les restriccions

A continuació, hem de definir els materials i la secció.

El mateix programa té llibreries de materials d'on podem extreure el S355, que posseeix les mateixes propietats que l'acer que utilitzarem. La única diferència, és que el nostre acer aguanta més bé a temperatures pròximes a -20°C . En qualsevol cas, pel tipus de simulacions que farem no serà rellevant ja que seran a temperatura ambient.

The screenshot shows the 'Material Definition' dialog box in SAP 2000. It is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color is 'S355' with a blue color swatch. Material Type is 'Steel'. Material Notes has a 'Modify/Show Notes...' button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is 76,9729. Mass per Unit Volume is 7,849. Units are set to 'KN, m, C'.
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 2,100E+08. Poisson is 0,3. Coefficient of Thermal Expansion, A is 1,170E-05. Shear Modulus, G is 80769231.
- Other Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy is 355000. Minimum Tensile Stress, Fu is 510000. Effective Yield Stress, Fye is 390500. Effective Tensile Stress, Fue is 561000.

Figura C.5 - Definició del material en SAP 2000

A les llibreries hi ha algunes de les seccions més comunes. Agafem un perfil rectangular de 60x30x4 per a fer l'assaig.

The screenshot shows the 'Section Definition' dialog box in SAP 2000. It is organized into two main sections:

- Dimensions:** Outside depth (t3) is 0,06. Outside width (t2) is 0,03. Flange thickness (tf) is 4,000E-03. Web thickness (tw) is 4,000E-03.
- Section:** A diagram shows a rectangular profile on a grid. The vertical axis is labeled '2' and the horizontal axis is labeled '3'.

Figura C.6 - Definició de perfil en SAP 2000

Ara és el torn de posar les forces que afectaran a l'estructura.

Aquests esforços els hem recopilat en l'ANNEX B: segons la seva procedència i magnitud. Però en aquest primer anàlisi, simplifiquem la combinació d'accions per una única càrrega distribuïda i uns valors de l'empenta del vent puntuals. Els valors d'aquests són els següents.

Sense multiplicar pels coeficients de parcials, la càrrega distribuïda que s'ha d'aplicar sobre l'estructura i la càrrega lateral que s'ha d'aplicar sobre les unions del cordó inferior són aproximadament les següents:

$$q_{distribuida} = 3,26 \text{ kN/m}$$

$$q_{puntual vent} = 1.61 \text{ kN}$$

Per a replicar amb més exactitud, multiplicarem cada càrrega per 1,5 i ho arrodonirem a l'alça. Finalment, les càrregues que posarem en el model seran les següents:

$$q_{distribuida} = 5 \text{ kN/m}$$

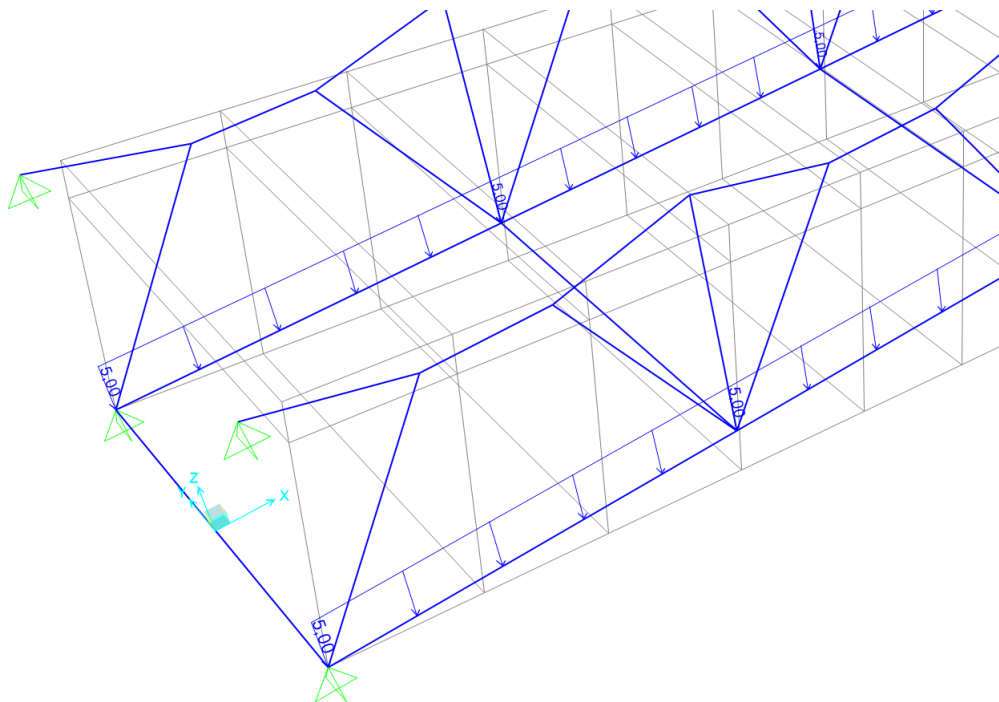


Figura C.7 - Aplicació $q_{distribuida}$ en SAP 2000

$$q_{\text{lateral vent}} = 2,5 \text{ kN}$$

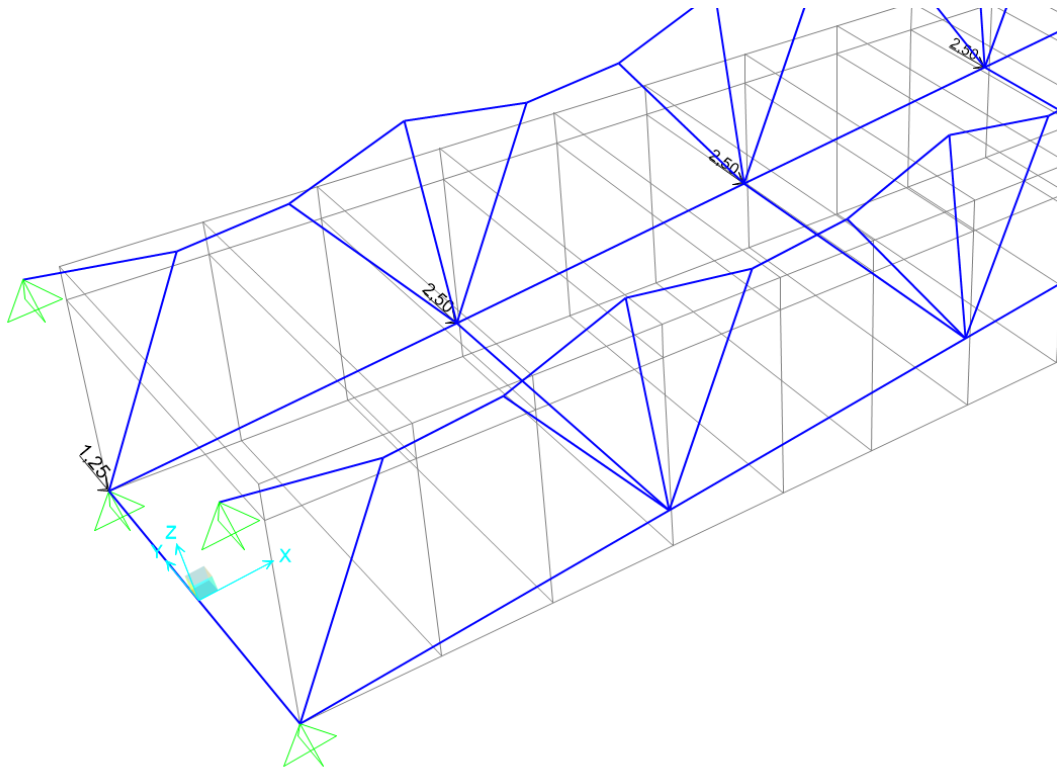


Figura C.8 - Aplicació de les càrregues laterals

Comprovarem l'impacte que tenen sobre l'estructura aquestes dues càrregues per separat. La càrrega distribuïda ens donarà informació sobre com aguanta els esforços la gelosia vertical. En canvi amb les càrregues laterals veurem la rigidesa de la gelosia de la base.

Aquesta simplificació de les combinacions d'accions només la realitzem en aquest model més senzill. En el model final crearem les combinacions d'accions degudament segons la normativa trobada a la IAP-11.

En el model final també explicarem amb més detall com s'apliquen els esforços sobre el model en el SAP 2000.

C.2 Resultats

En aquest apartat analitzarem els resultats obtinguts amb aquest primer model simplificat. Ens donarà indicacions per a saber quins canvis hem de fer i veure si anem ben encaminats en el procés de dimensionar la secció.

El primer pas serà calcular la tensió segons el criteri de Von Mises. Podem extreure molta informació del valor de les tensions. Per exemple, sabem si les seccions estan ben dimensionades, si fan falta reforços en alguna zona o si pel contrari en sobren. El criteri de Von Mises està explicat amb més detall en l'Annex B.5.2.

Les captures de pantalla estan enfocades a la primera secció de la estructura. Això és degut a que aquesta és la part pateix tensions més elevades. De fet ja ens esperàvem que la part més pròxima a la base fos la més carregada.

C.2.1 Anàlisi de l'impacte de la càrrega distribuïda

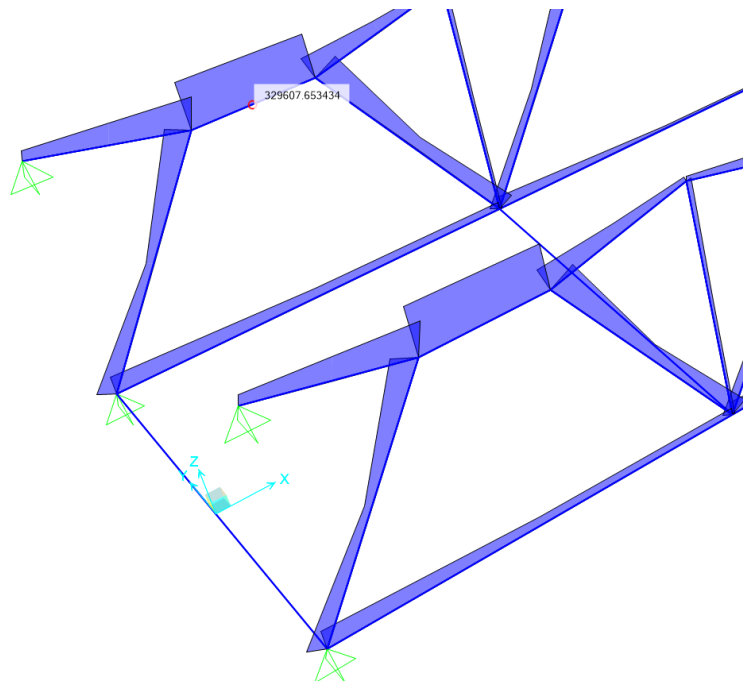


Figura C.9 - Tensió Von Mises, càrrega distribuïda

Observant la figura Figura C.9, veiem que el valor més elevat de tensió no sobrepassa la resistència del material, i per tant ni es deforma permanentment ni trenca.

Així tenim una primera idea del perfil de les barres. Sabem que necessitarem una secció similar o més reduïda.

C.2.2 Anàlisi de l'impacte de les càrregues laterals

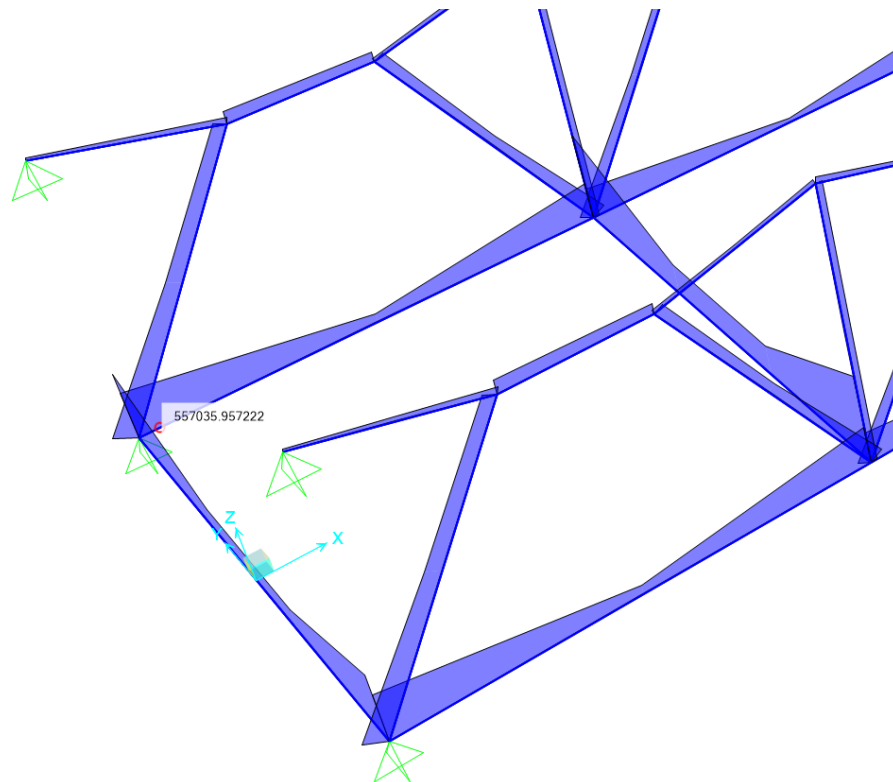


Figura C.10 - Tensió Von Mises, càrregues puntuals laterals

La tensió del cordó inferior supera el llindar de la resistència del material. Tenim valor de tensions al voltant del 550-600 MPa pel cordó inferior i el cordó horitzontal.

Ha sigut l'acció aïllada de la càrrega lateral la que ha generat aquestes tensions tant elevades. I hem de tenir en compte que aquí no s'ha combinat amb altres esforços com serà en l'anàlisi del model final. Aquest resultat ens indica que la secció necessitarà una barra de reforç i/o augmentar els perfils de les barres.

C.3 Model final de la passarel·la

En aquest model aplicarem els valors tal i com ho requereixen les normatives per a que la passarel·la pugui ser homologada.

C.3.1 Canvis en la gelosia

Aplicarem els canvis que hem vist que eren necessaris segons els resultats en el primer model. Aquests canvis inclouen afegir una barra diagonal a la base que ajudi a augmentar la

rigidesa envers els esforços laterals que es puguin aplicar. Cal destacar d'aquest nou model que hi haurà més cordons horitzontals respecte el model anterior, ja que no estan compartits entre les seccions. Es pot observar el canvi a la Figura C.11.

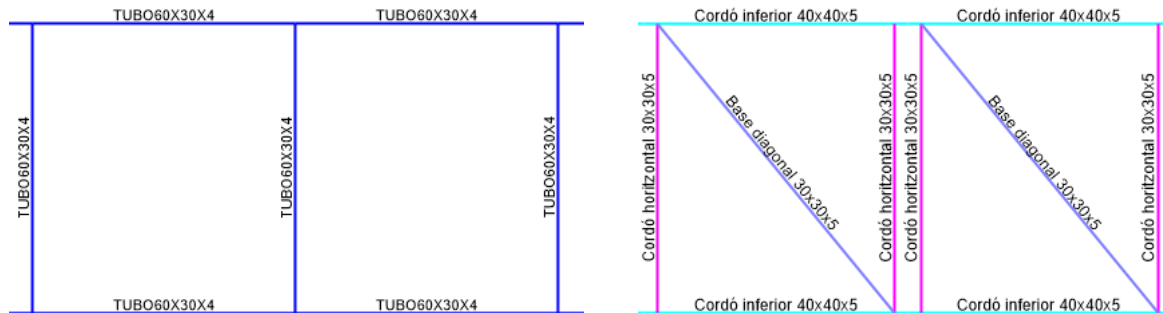


Figura C.11 - Canvis en la planta de la gelosia

Apart d'això, canviarem les unions entre les barres de la gelosia. En el model anterior els muntants intersectaven en el punt de unió entre els dos cordons inferiors i la part inferior del pistó com si es tractés d'un nus KT (veure ANNEX F:). Però això no és possible segons el model que volem obtenir, que tindrà passadors. Els cordons inferiors estaran units amb passadors. Per tant el muntant s'haurà d'unir a el cordó abans de l'extrem d'aquest. Es pot veure la idea en la imatge Figura C.12.

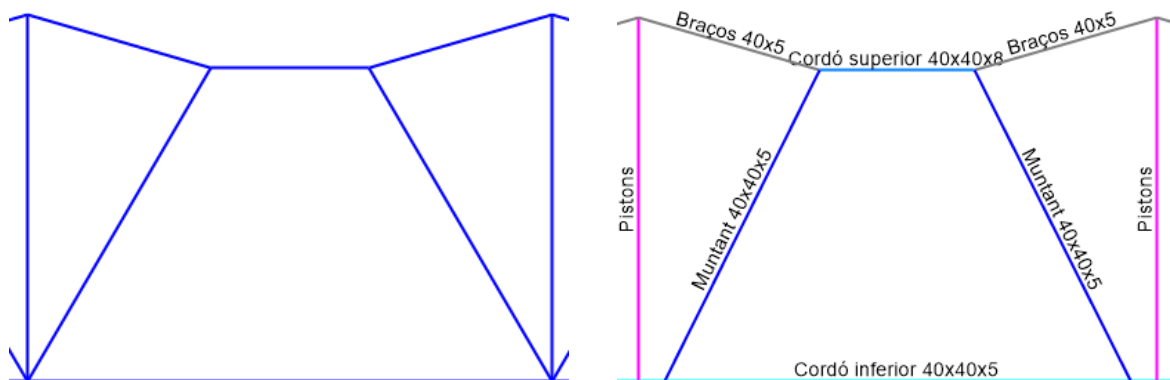


Figura C.12 - Canvis en la gelosia vertical

C.3.2 Canvis en els perfils

També hem introduït seccions més apropiades per a l'esforç que han de resistir. Després de comprovar diferents tipus de perfils, els més efectius han sigut els rectangulars i quadrangulars.

Per a augmentar la facilitat del procés de fabricació, s'ha pres la decisió de utilitzar un mateix perfil en una barra en comptes d'un específic on l'àrea seria més petita.

Llistarem els tipus de perfils a continuació:

- Cordó inferior i muntant

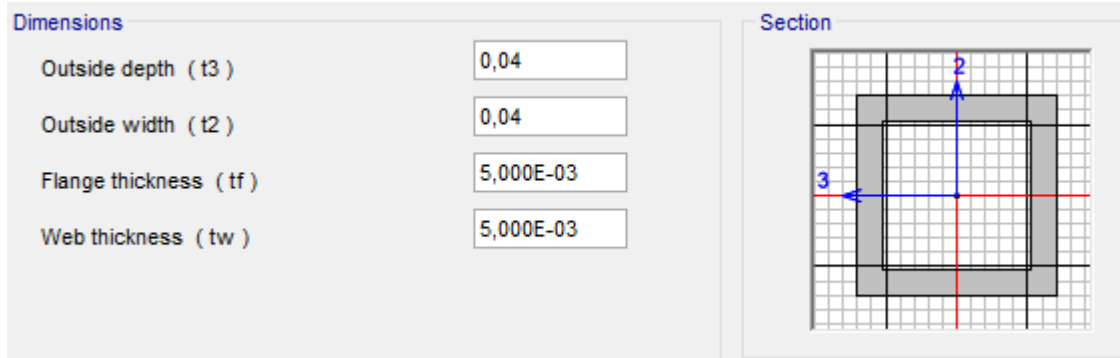


Figura C.13 - Perfil 40x40x5

- Diagonal i cordó horitzontal

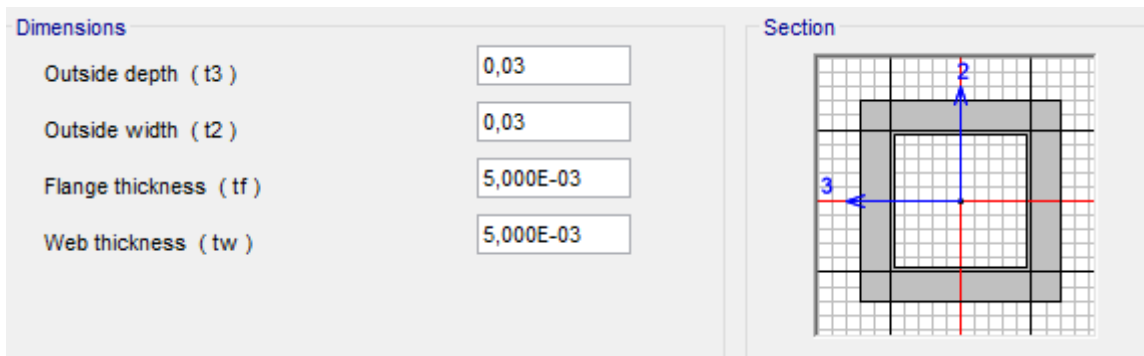


Figura C.14 - Perfil 30x30x5

- Cordó inferior

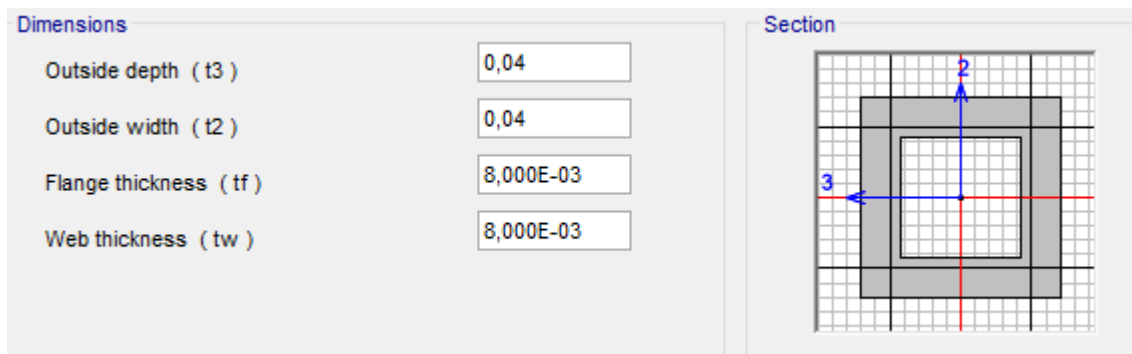


Figura C.15 - Perfil 40x40x8

- Braç

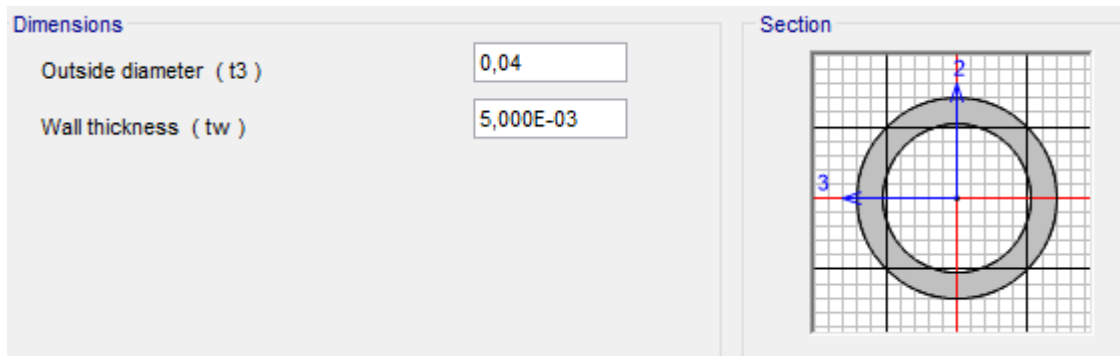


Figura C.16 - Perfil 40x5

- Pistó

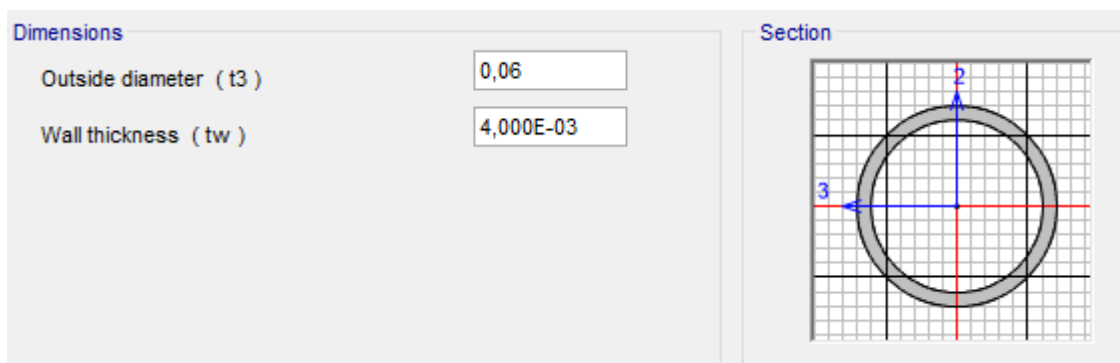


Figura C.17 - Perfil 60x4

C.3.3 Modelització dels estats de càrregues

A l'apartat de l'47ANNEX B: hem vist com obtenir els valors de la sobrecàrrega, el pes propi, el vent i la neu. Ara és el moment d'aplicar aquests valors i crear les combinacions per a l'estudi dels ELS i ELU.

Hem d'introduir els valors que trobarem a la taula següent en el SAP 2000.

	Càrrega distribuïda vertical	Càrrega puntual lateral
Pes propi	0,289 kN/m + 0,0805 kN/m + 0,0325 kN/m	0
Sobrecàrrega	2,75 kN/m	0,326 kN
Vent	0	1,285 kN
Neu	0,22 kN/m	0

Taula C-1 - Valors càrregues

Hem de crear els casos per a poder-hi posar els coeficients de les combinacions. Els casos que creem són els que podem veure a la Figura C.18.

Load Patterns			
Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
PERMANENT	OTHER	0	
SOBRECARREGA	OTHER	0	
VENT	OTHER	0	
NEU	OTHER	0	
PERMANENT	OTHER	0	

Figura C.18 - Creació combinacions en SAP 2000

Un cop creat els casos, apliquem les forces i/o càrregues distribuïdes pertinents. A continuació mostrarem com queden les forces aplicades en cada un dels casos.

C.3.3.1 Permanent

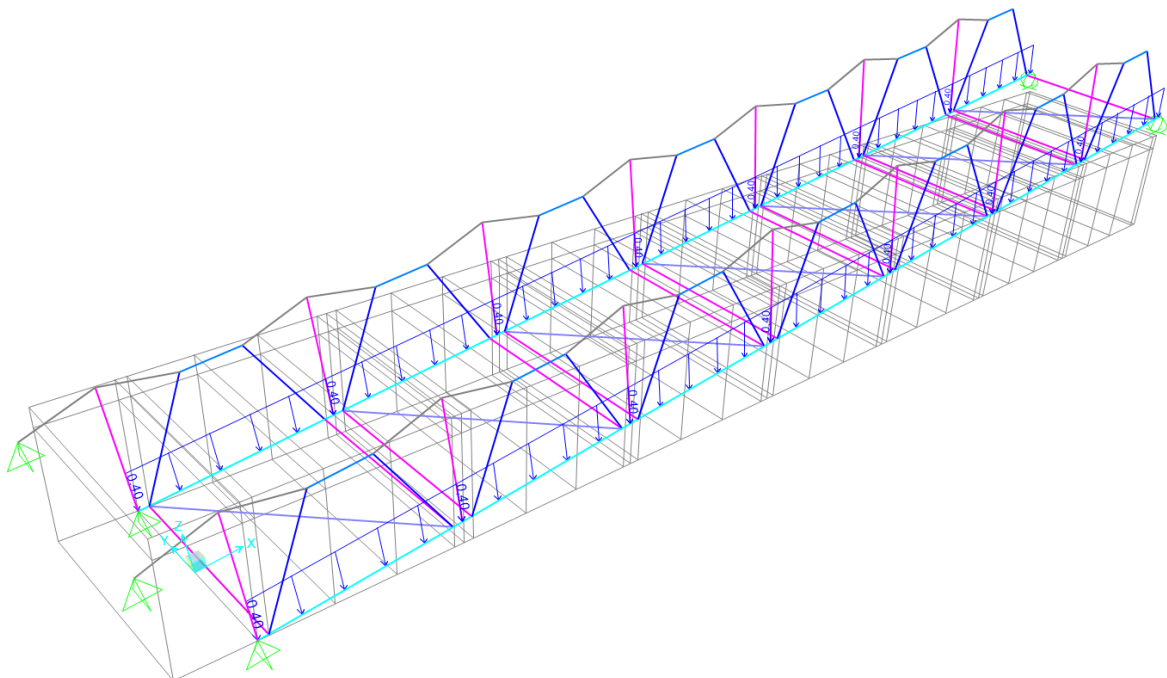


Figura C.19 - Aplicació Permanent en SAP 2000

La càrrega distribuïda aplicada és de 0,402 kN/m sobre els cordons inferiors.

C.3.3.2 Sobrecàrrega

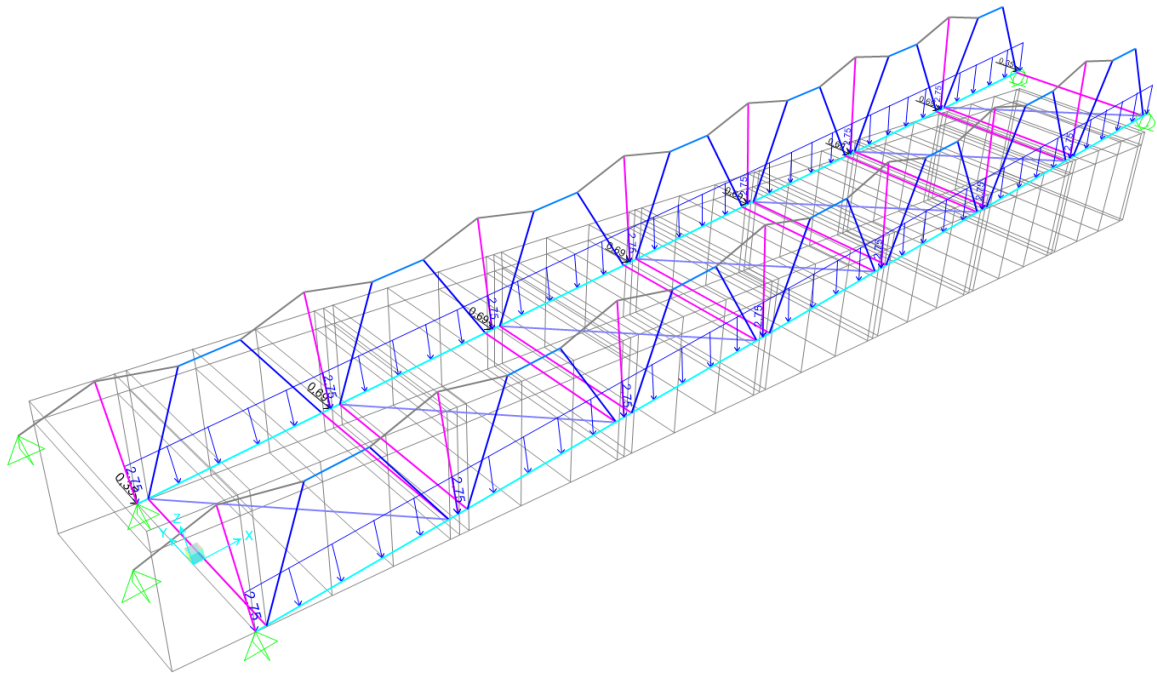


Figura C.20 - Aplicació sobrecàrrega en SAP 2000

Com es veu a la Figura C.20, la càrrega distribuïda aplicada sobre el cordó inferior és de 2,75 kN/m. La càrrega lateral de la sobrecàrrega l'apliquem a la base de les interseccions en els cordons. Les interseccions intermitges han d'aguantar el doble perquè han d'aguantar ambdós seccions de l'estructura, i cada part fa un metre de llargada. Així doncs, el valor del primer i últim node és de 0,326 kN, mentre que els altres són de 0,652 kN.

C.3.3.3 Vent

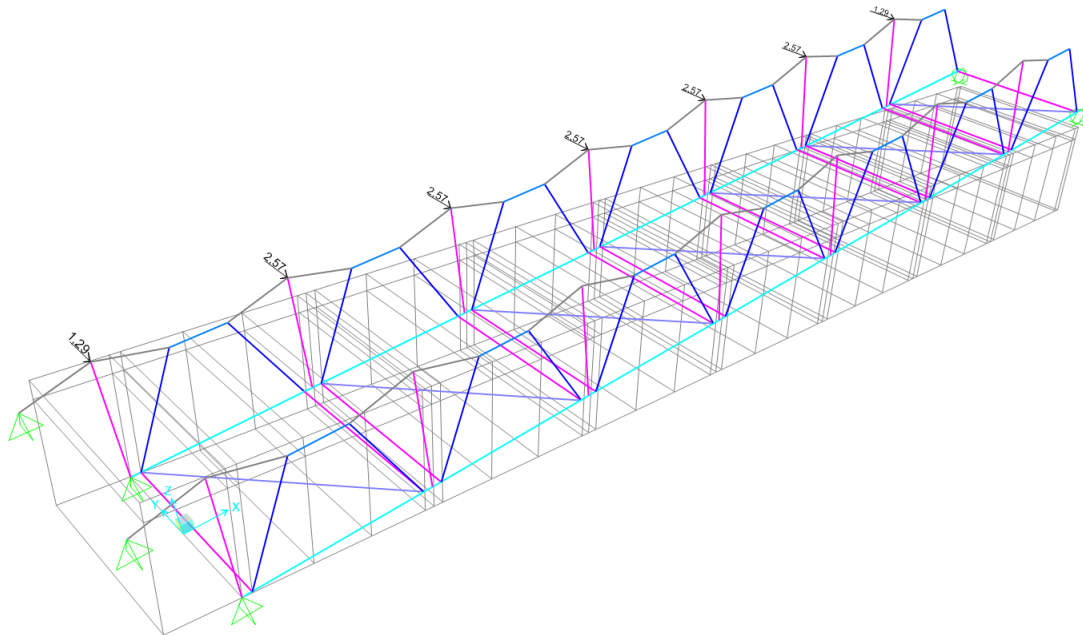


Figura C.21 - Aplicació càrregues de vent en SAP 2000

La normativa IAP-11 ens determina que les càrregues laterals de vent s'han de situar a aproximadament 1 m d'alçada (l'altura del passamans).

Les càrregues laterals rebran el mateix tractament que en l'apartat anterior. És a dir, les interseccions entre seccions han de suportar el doble d'esforços. El primer i últim valor serà de 1,285 kN i els entremetjos de 2,57 kN.

C.3.3.4 Neu

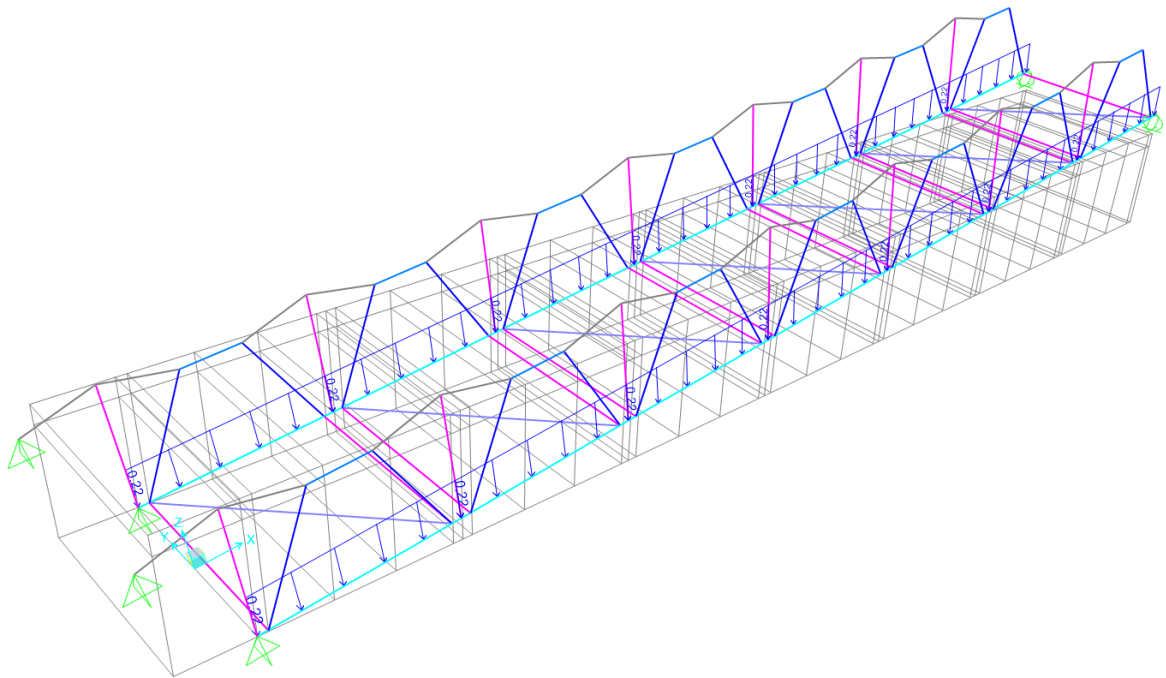


Figura C.22 - Aplicació càrregues de neu en SAP 2000

La càrrega distribuïda és de 0,22 kN/m sobre els cordons inferiors.

C.3.4 Combinacions ELU i ELS

El primer pas és crear les combinacions. Ja hem definit els casos de les càrregues. Només ens queda crear-les i afegir-hi els coeficients.

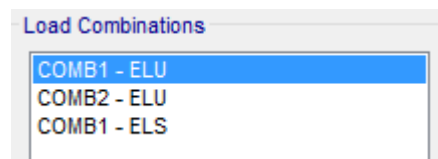


Figura C.23 - Creació combinacions

A l'Annex B.5 hem mostrat com trobar aquests paràmetres de les combinacions segons la normativa de la IAP-11 i la CTE-DB-SE.

Combinació 1 ELS: $G_{pes\ propi} \times 1 + Q_{ús} \times 1 + Q_{neu} \times 1 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1 \times 0,3$

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PERMANENT	Linear Static	1,
PERMANENT	Linear Static	1,
SOBRECARREGA	Linear Static	1,
NEU	Linear Static	0,8
VENT	Linear Static	0,3

Figura C.24 - Modelització combinació ELS en SAP 2000

Combinació 1 ELU: $G_{pes\ propi} \times 1,35 + Q_{ús} \times 1,35 + Q_{neu} \times 1,5 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1,5 \times 0,3$

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PERMANENT	Linear Static	1,35
PERMANENT	Linear Static	1,35
SOBRECARREGA	Linear Static	1,35
NEU	Linear Static	1,2
VENT	Linear Static	0,45

Figura C.25 - Modelització combinació 1 ELU en SAP 2000

Combinació 2 ELU: $G_{pes\ propi} \times 1,35 + Q_{neu} \times 1,5 \times 0,8 + Q_{vent} \times 1,5$

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PERMANENT	Linear Static	1,35
PERMANENT	Linear Static	1,35
NEU	Linear Static	1,2
VENT	Linear Static	1,5

Figura C.26 - Modelització combinació 2 ELU en SAP 2000

Finalment, podem passar a realitzar la simulació de la passarel·la.

C.3.5 Simulació i anàlisi dels resultats (ELU)

En la primera simulació del model senzill, havíem vist que els esforços del vent produïen tensions més elevades a la gelosia de la base mentre que la permanent i la sobrecàrrega ho feien en l'eix vertical.

La combinació 1 del ELU té com a factor prioritari la sobrecàrrega. Pel que trobarem valors més elevats de tensions en el cordó superior, muntants, cordó inferior, braços i pistons.

La combinació 2 del ELU té com a factor prioritari el vent. Els valors més elevats de tensions els trobarem en la diagonal i el cordó horitzontal.

En les figures següents mostrarem al posició de les tensions més elevades i a quines barres pertanyen.

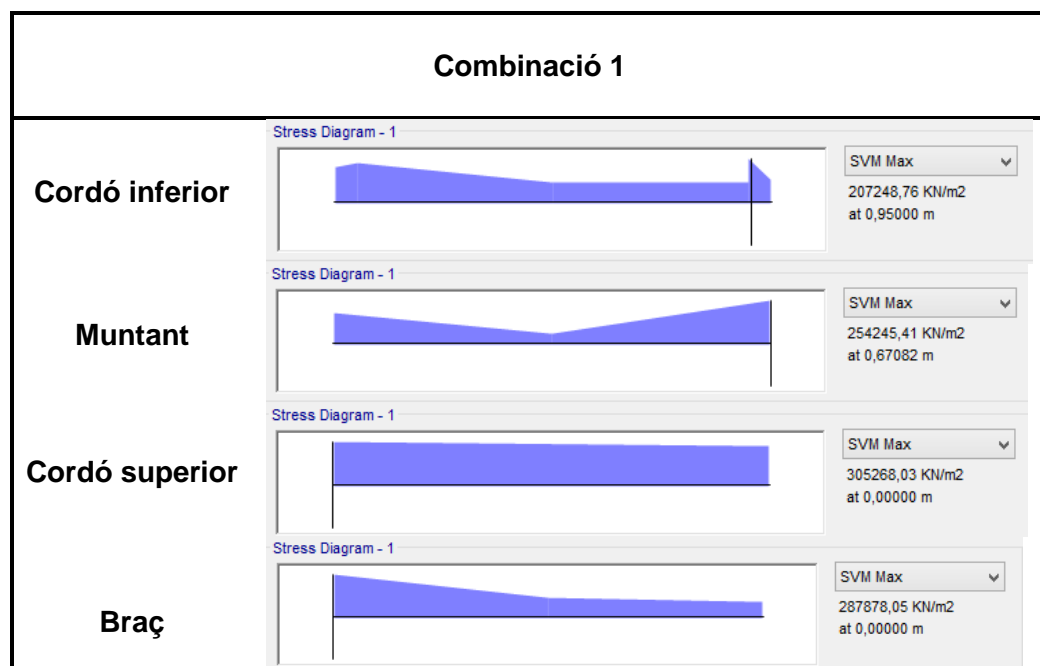


Figura C.27 - Von Mises, Comb. 1 ELU

Podem veure on es troba les barres més crítiques de cada tipus en la Figura C.28.

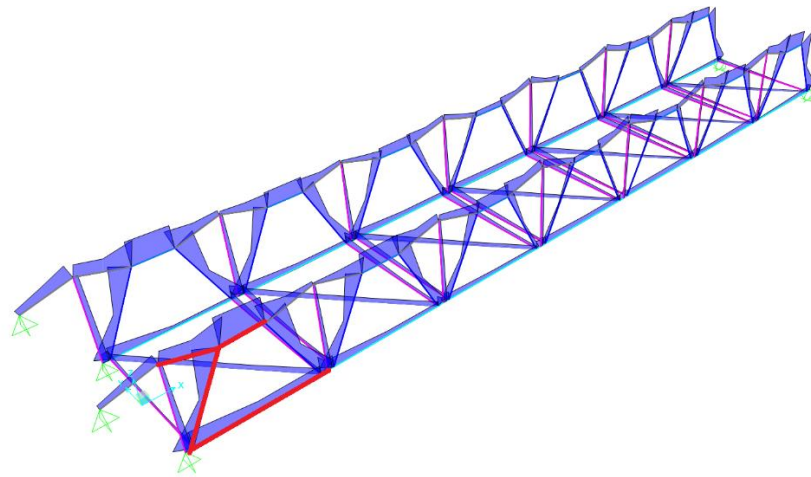


Figura C.28 - Localització de les barres més tensionades, Comb. 1 ELU

Ara farem el mateix amb la combinació 2.

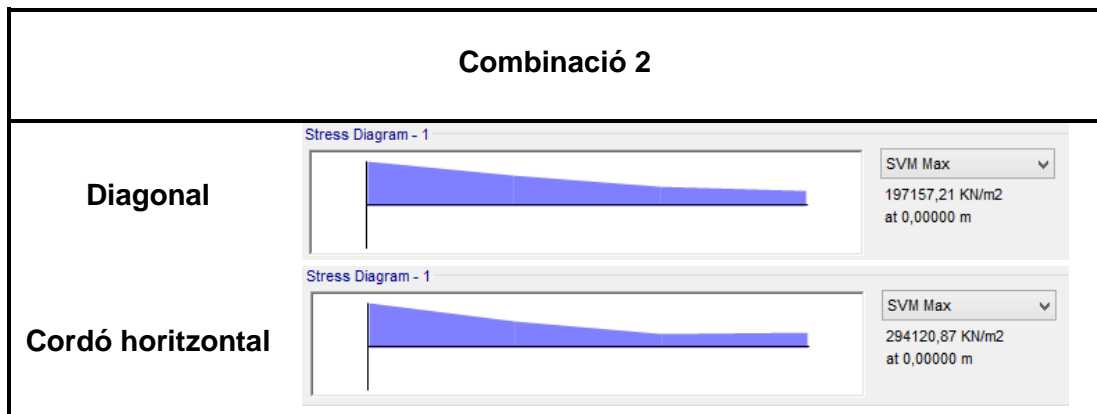


Figura C.29 - Von Mises, Comb. 2 ELU

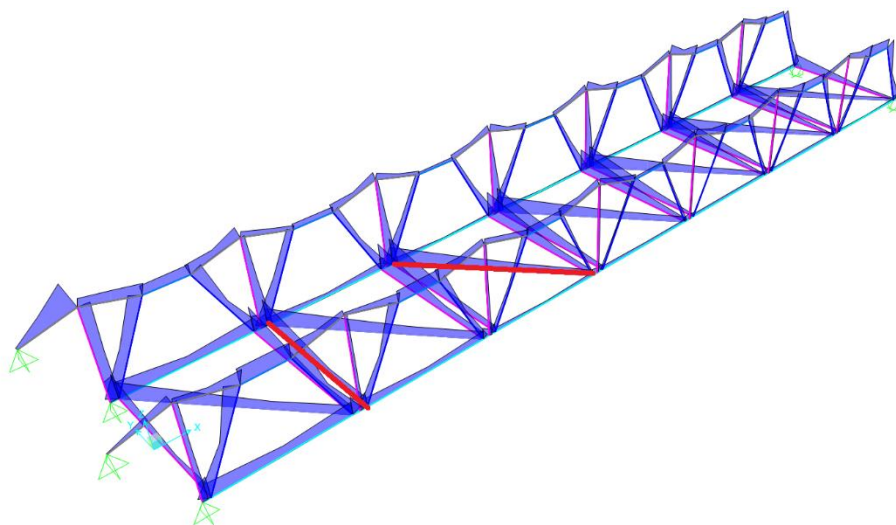


Figura C.30 - Localització de les barres més tensionades, Comb. 2 ELU

Cap dels valors ha superat la resistència del material. Per a fer-ho, el valor de la tensió hauria de superar els 355 N/mm². Podem deduir que les barres estan correctament dimensionades per a ambdós combinacions (que contempen els pitjors dels casos que es poden presentar).

C.3.6 Simulació i anàlisi dels resultats (ELS)

Aquest anàlisi tracta de comprovar que la llum de la passarel·la és menor de L/1200.

$$\frac{L}{1200} \geq \text{Fletxa sobrecàrrega} \rightarrow 5,83 \text{ mm} \geq \text{Fletxa sobrecàrrega}$$

Per a obtenir aquesta fletxa, hem de fer el següent càlcul:

$$\text{Fletxa sobrecàrrega} = \text{Fletxa permanent} - \text{Fletxa combinació ELS}$$

La llum és màxima en el centre de la passarel·la. Les mesures seran preses del punt més baix que està localitzat en una de les interseccions.

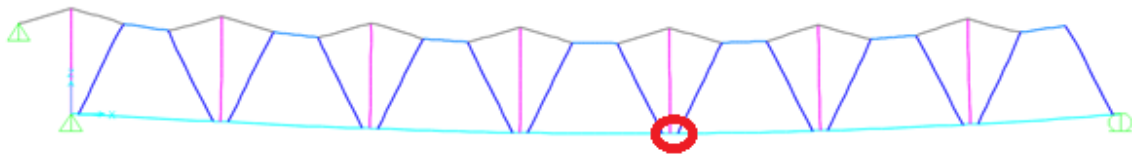


Figura C.31 - Punt de llum màxima

La fletxa permanent és la fletxa que afecta la nostra estructura encara que no estigui en ús. És a dir, és la fletxa quan l'única càrrega que afecta l'estructura és el pes propi. L'hem calculat amb el SAP 2000 tal com hem fet amb els casos anteriors.

	Joint Object 12		Joint Element 12	
	1	2	3	
Trans	-1,885E-04	-0,00298	-0,00938	
Rotn	-0,00135	-4,990E-04	-9,828E-04	

Figura C.32 - Fletxa permanent

La fletxa del ELS és bàsicament la fletxa que s'obté quan tots els esforços actuen però sense majorar-los.

	Joint Object 12		Joint Element 12	
	1	2	2	3
Trans	-2,752E-04	-0,00425	-0,01288	
Rotn	-0,00204	-6,860E-04	-0,00139	

Figura C.33 - Fletxa comb. ELS

$$Fletxa sobrecàrrega = |-12,88 + 9,38| = 3,5 \text{ mm}$$

Com podem comprovar, la llum màxima de la passarel·la és menor que el límit establert per normativa de 5,83 mm.

C.4 Passarel·la en moviment

La passarel·la com bé sabem ha de poder recollir-se i desplegar-se en un octàgon. Fins ara hem avaluat com aguantava en estat de treball estàtic. Però es necessari saber també si podrà aguantar el seu propi pes al plegar-se.

Per avaluar-ho ho farem de dues maneres. La primera serà comprovar l'instant just abans de desplegar-se del tot, moment en que l'extrem final de la passarel·la estigui a punt de tocar el terra (o de començar-se a recollir). La segona serà aplicar forces en diferents direccions sobre una de les parts de l'estructura amb la intenció de simular la secció més pròxima a la base a mesura que la estructura es mou. La secció més pròxima a la base serà la que aguantarà més força degut a que és la que té el braç més llarg respecte el c.d.g.

C.4.1 Posició crítica en el desplegament

El moment crític més important que s'ha d'afrontar és aquell en que la passarel·la està pràcticament tota desplegada, però l'extrem final encara no reposa sobre el terra. Ho és perquè és justament en aquest precís instant on el c.d.g. de la passarel·la fa més palanca.

Per a simular-ho utilitzem el SAP 2000 un altre cop. La única càrrega que tindrem en compte serà la del pes propi o permanent. Evidentment les altres càrregues no farà falta contemplar-les perquè no estarà en servei.

L'altre canvi que hem de fer, és alliberar les restriccions de l'extrem final simulant que és un voladís i només s'aguanta amb els suports de la base.

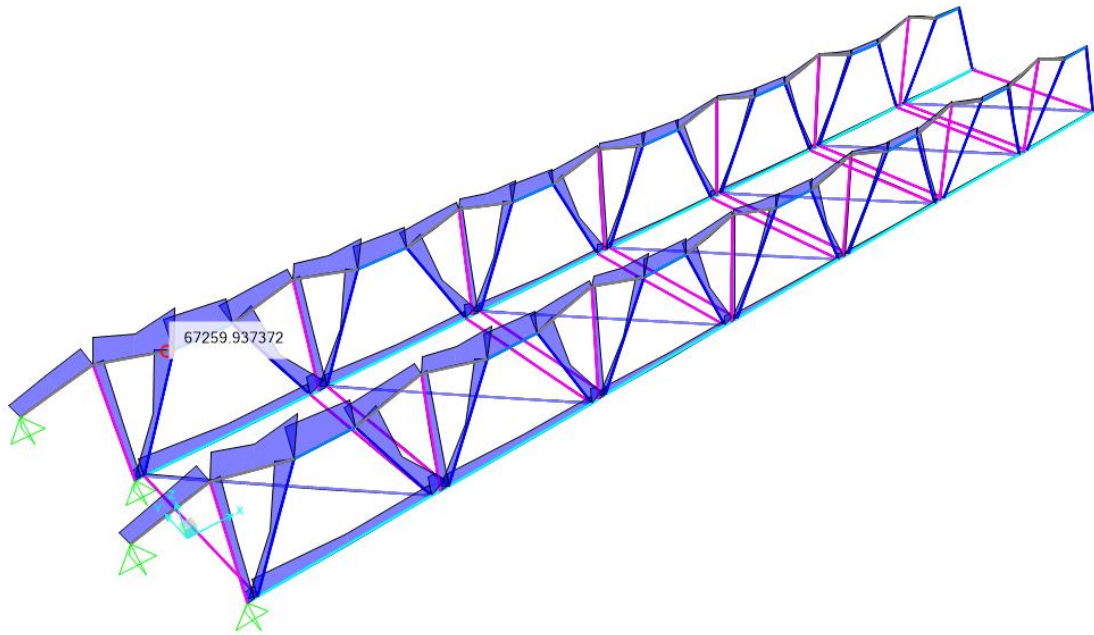


Figura C.34 – Tensió Von Mises, càrrega permanent i voladís

Com es pot observar a la captura de pantalla, un dels valors de tensió més elevats és en un dels braços més pròxims a la base. El valor és de 67 N/mm². Tenint en compte que la resistència de l'acer és de 355 N/mm², només estem utilitzant aproximadament un 20% del potencial del acer. En part té força lògica, perquè els dos factors que augmenten més la tensió en la passarel·la són la sobrecàrrega i les forces laterals del vent. En el moment en que deixen de interactuar aquestes es redueixen considerablement.

Aquesta simulació, ens determina que és molt probable que la recollida de la passarel·la sigui segura en tots els instants per a totes les peces. Tot i així realitzarem l'altre comprovació.

C.4.2 Anàlisi de posicions

Cada secció gira aproximadament uns 45° amb el moviment d'extensió del pistó. El que pretenem fer amb el SAP 2000 és calcular-ne les tensions en algunes de les posicions.

Primer de tot, hem de saber quines són la posició final i inicial del pistó. Aquestes les podem veure en color verd i vermell en la Figura C.35.

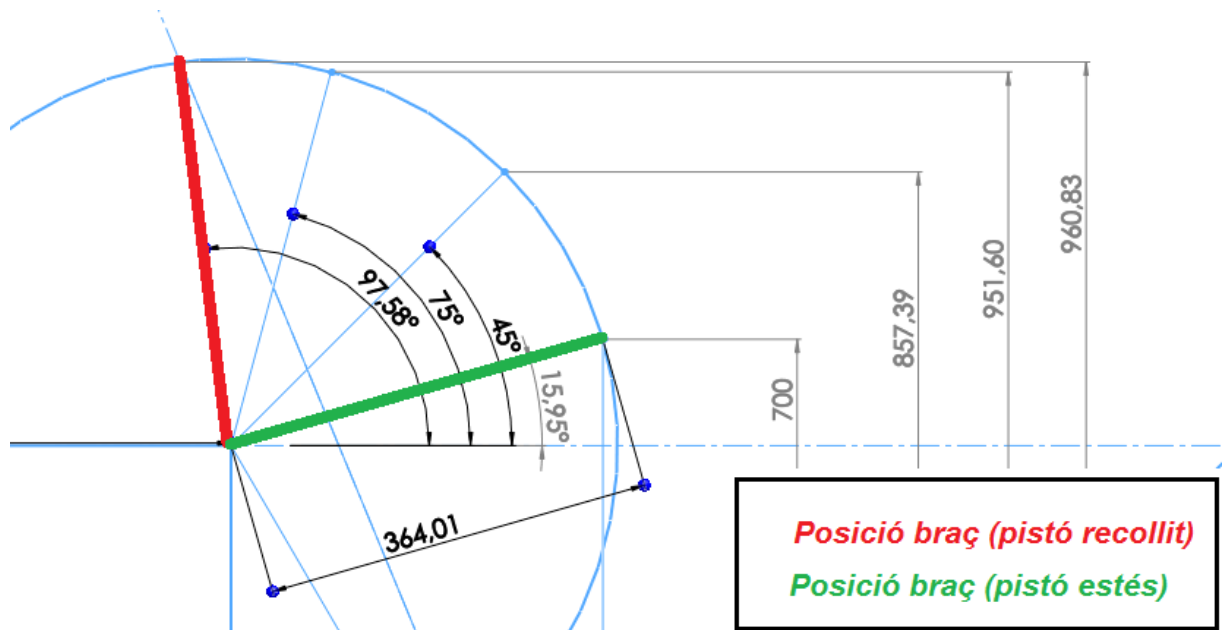


Figura C.35 - Posicions de la secció

Hem fet també dues separacions més entre les dues (45° i 75°). L'anàlisi estàtic s'ha realitzat en la posició del pistó totalment estès. Ens queden 3 posicions per a analitzar.

Com hem vist a l'Annex B.1.3, les set seccions juntes pesen 573,7 kg. Cada secció està connectada amb la següent per quatre punts. Aplicarem el pes de l'estructura majorat i repartit en les articulacions. L'angle d'aplicació de la força serà el mateix de la barra amb la que connecta.

$$573,7 \text{ kg} \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \cdot 4 \text{ (majorem el pes)} = 22512 \text{ N}$$

Repartit entre les quatre articulacions seria aproximadament 5 kN a cada una.

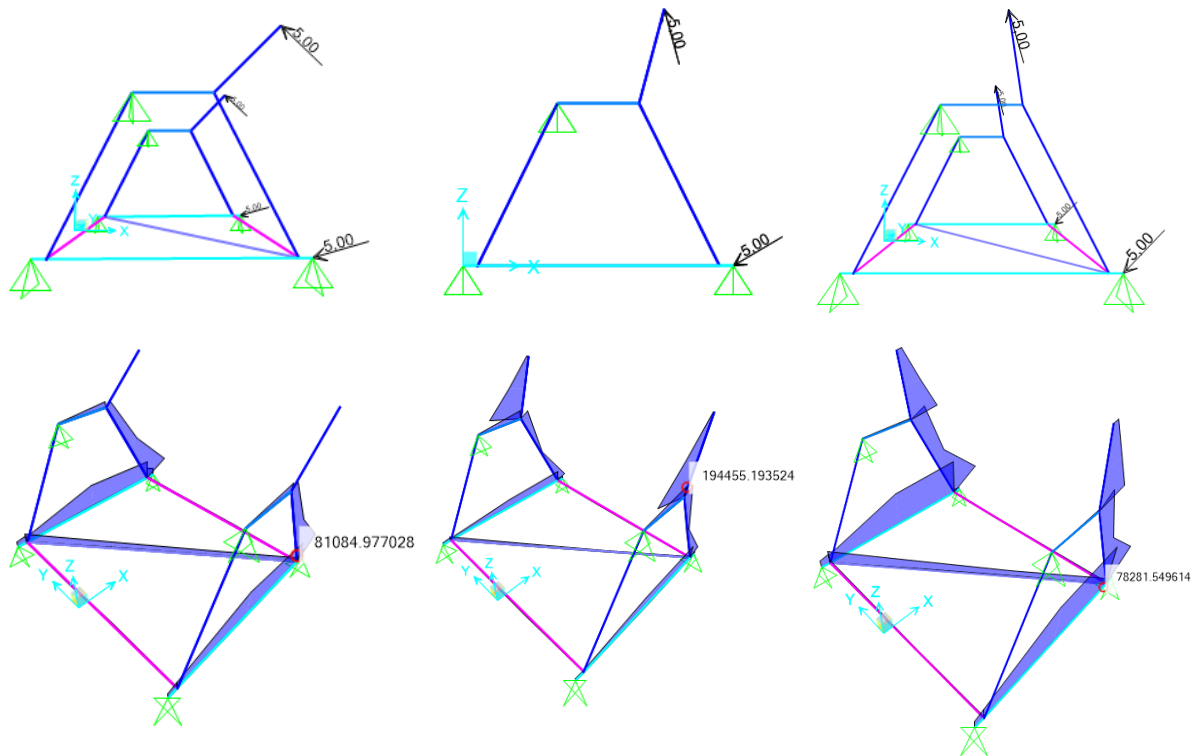


Figura C.36 - Resultats anàlisi posicions (45°, 75° i 97°) en SAP 2000

En tots els casos i totes les barres, les tensions són inferiors a la resistència del material.

C.5 Base

La base tindrà la mateixa forma que qualsevol de les altres parts de la estructura, però estarà reforçada. No només és una part que suporta totes les altres, sinó que amés ha de fer altres funcions com garantir la estabilitat del conjunt, permetre'n la mobilitat i emmagatzemar peces per a la motorització de la rampa. Per a això serà necessari guanyar espai.

En l'Annex C.4.1 hem descobert que es generen les tensions més elevades quan la rampa està en servei. Per a obtenir el cas més crític, hem d'avaluar com es comporta realitzant la comprovació de ELU en servei.

Calculem les reaccions que hi ha a la primera part de la rampa. Aquestes reaccions les aguanta la base i les hem d'aplicar sobre ella.

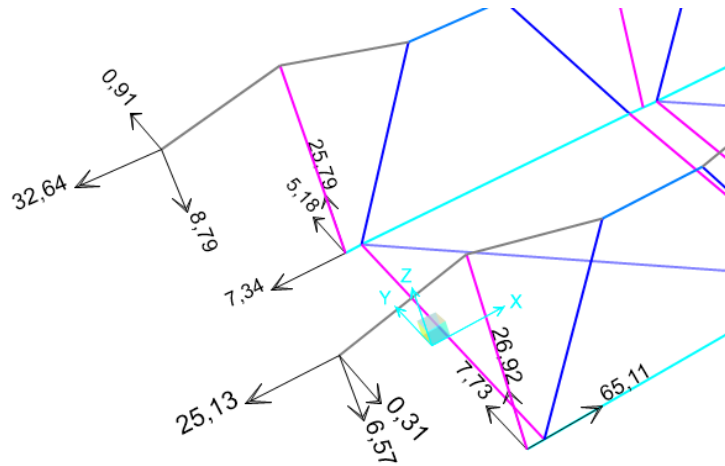


Figura C.37 - Reaccions sobre la base

Sobre la base continuaran afectant els estats de càrregues. Per tant hem d'afegir-los en el lloc corresponent de la mateixa manera que ho hem fet fins ara. Aquest cop el valor del pes propi serà lleugerament superior. Hem afegit 2 metres de perfil 40x40x8 i 5,22 metres de perfil 30x30x5.

Els valors que hem d'aplicar són els següents:

	Càrrega distribuïda vertical	Càrrega puntual lateral
Pes propi	0,441 kN/m + 0,0805 kN/m + 0,0325 kN/m	0
Sobrecàrrega	2,75 kN/m	0,326 kN
Vent	0	1,285 kN
Neu	0,22 kN/m	0

Taula C-2 - Valors de càrregues de la base

Per a reforçar la base s'han afegit les barres que es poden veure a la Figura C.38. Tal i com es pot observar, és tracta de la mateixa secció anterior però amb un nivell més. També s'ha afegit una barra rigiditzadora entre el cordó superior i inferior.

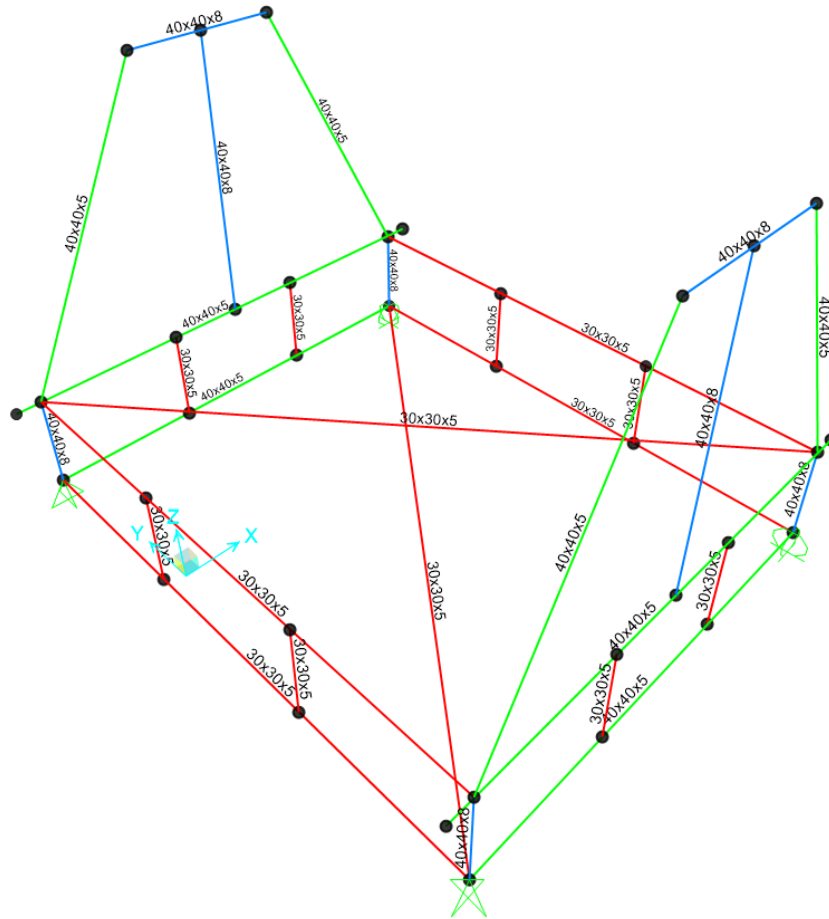


Figura C.38 - Base amb barres de reforç afegides

C.5.1 Resultats

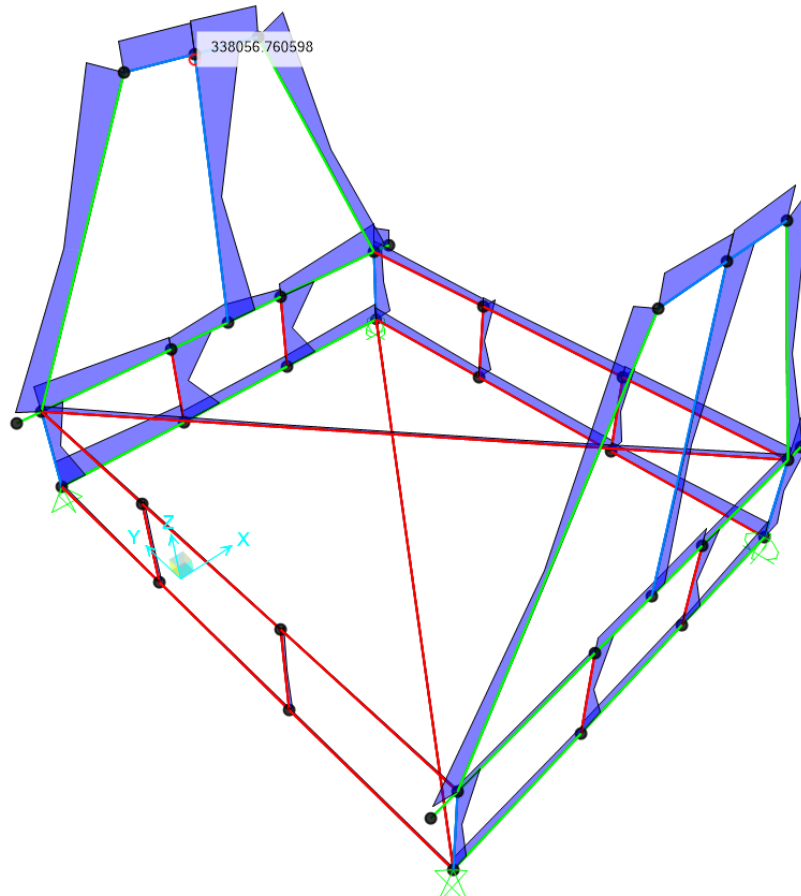


Figura C.39 - Von Mises, Base

El valor més elevat de tensió el podem trobar a una de les barres que hem posat per a fer la funció de rigiditzar. El valor és de 338 N/mm². La tensió de les barres verticals que hem afegit a sota el cordó inferior també és força elevat, de 300 N/mm². Es demostra que la secció necessita d'aquestes barres addicionals.

Amés, com hem dit abans, el pis inferior és necessari per a emmagatzemar components pels pistons, fixar-hi l'eix que permetrà afegir-hi rodes a la base, contrapesos etc...

Les tensions són pròximes al límit que tenim, però tot i això són inferiors. La valoració és positiva.

ANNEX D: RESISTÈNCIA DE LES BARRES

Hem realitzat una hipòtesi de càlcul amb càrregues i hem comprovat la resistència estructural de les seccions, les barres i les unions. Per fer-ho ens hem assegurat que la tensió de calculada amb el criteri de Von Mises fos més petita que la tensió admissible del acer utilitzat i la llum del conjunt estigues entre uns valors.

En el CTE-DB-SE-A hi ha un seguit de comprovacions addicionals a la resistència dels estats últims. Aquestes verificacions es concentren en l'estudi de les barres individualment, pel que és una mirada més exhaustiva. Estem parlant de un estudi de resistència de la secció i un de la barra.

Hi ha quatre tipus diferents de classes de barres. Les diferències entre les classes i quin mètode hem de seguir per a saber de quina classe es tracta cada barra ho podem trobar a la Figura D.1.

Tabla 5.3 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos

Geometría		Límite de esbeltez: c/t máximo		
Solicitación	Elemento plano	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión + Tracción -				
Compresión		33ε	38ε	42ε
Flexión simple		72ε	83ε	
				124ε
Flexocompresión $\psi \geq -1$		$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$	$\frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$	
		$\alpha \geq 0,5$	$\alpha \geq 0,5$	$\frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$
Flexotracción ¹⁾ $\psi \leq -1$		$\frac{36\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$	
		$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	$62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$
Caso especial: sección tubular	 Compresión Flexión simple Flexocompresión	$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$
Factor de reducción $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$				
1) $\psi \leq -1$ es aplicable a los casos con deformaciones unitarias que superen las correspondientes al límite elástico				

Figura D.1 - Classificació de barres suportades per ambdós costats

El que hem de fer és trobar el punt neutre de cada barra. El punt neutre de l'element és el punt on la tensió és 0. Per a fer-ho utilitzarem la fórmula següent:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} \quad (\text{Eq.7})$$

Però fent una ullada als moments de la rampa, podem fer una conclusió.

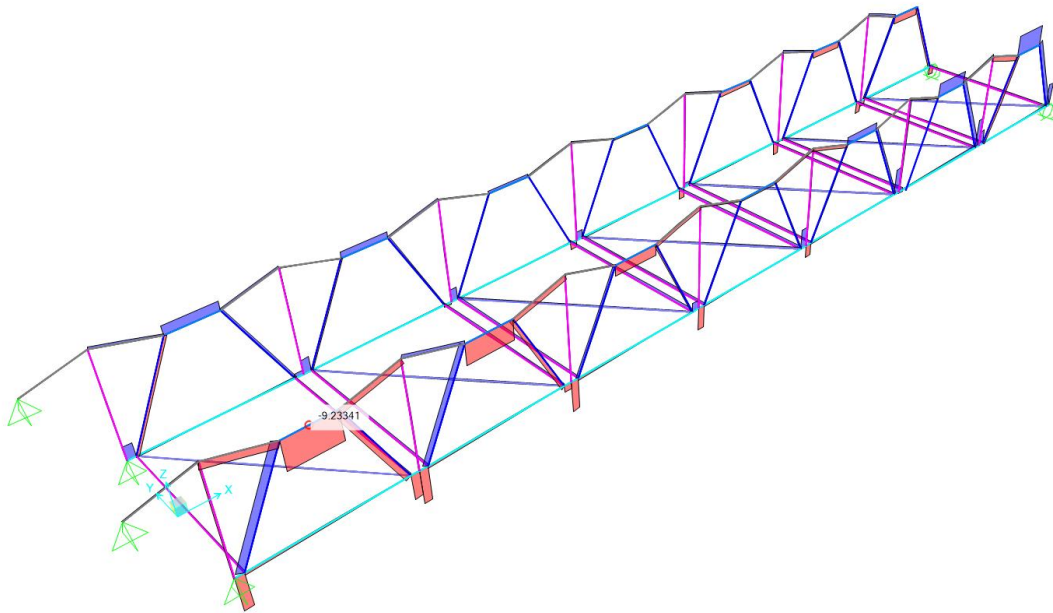


Figura D.2 - Moments en la direcció de la passarel·la

A la imatge podem observar que el valor més elevat de moments és d'aproximadament 9 kN i tret de al cordó superior a les altres barres no n'hi ha. Es per això que es pot deduir que tret de el cordó superior, a les altres barres la tensió generada pel moment és despreciable. Es per això que quan comparem els valors de les tensions generades pels moments i les axials ens adonem que la tensió a les barres no arribarà mai al 0. Ja que el valor de la tensió generada per l'axial serà molt més gran. El CTE ens especifica que si es dona aquesta situació on no s'arriba al valor 0, alpha és 1.

De la Figura D.1 obtenim les fórmules necessàries per a fer els càlculs.

$$\text{Factor de reducció } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,662$$

El límit d'esbeltesa (c/t) es troba dividint l'amplada per l'espessor. Trobem els diferents valors de c/t per a cada una de les barres.

	Cordó inferior 40x40x5	Diagonal 30x30x5	Muntant 40x40x5	Cordó superior 40x40x8	Cordó horitzontal 30x30x5	Braç 40x5
Limit d'esbeltesa c/t	8	6	8	5	6	8

Taula D-1 - Límit d'esbeltesa de les barres

Per a poder ser de classe 1 s'ha de complir la següent expressió:

$$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} \geq \frac{c}{t} \quad (\text{Eq.8})$$

$$\text{Substituint el valor de } \varepsilon \text{ i } \alpha \text{ obtenim } \rightarrow 21,846 \geq \frac{c}{t}$$

En el cas de el tub circular del braç, té una altra expressió pròpia que és la següent:

$$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2 \quad (\text{Eq.9})$$

$$\frac{d}{t} \leq 21,9122$$

Comparant els valors de c/t amb el de les barres veiem que totes les barres són de classe 1.

D.1 Resistència de les seccions

Aquest anàlisi calcula la resistència de les posicions més allunyades com els extrems de la barra o possibles singularitats en ella.

La capacitat resistent per a qualsevol classe d'esforç o combinació d'ells s'obté a partir de la distribució de les tensions que optimitzi el valor de la resistència, que equilibri l'esforç o combinació d'ells que actua sobre la secció, i que cap d'aquests punts observats sobrepassi el criteri de plastificació.

La capacitat resistent dependrà de la classe de secció. Diferents tipus de classes poden canviar el mètode per a calcular-ne la resistència.

Els esforços que es generen en la nostra estructura són de flexió composta sense tallant. En algun cas es genera un valor de tallant, però són de magnituds molt baixes i negligibles. El veritable esforç és a compressió i a flexió.

Utilitzarem les expressions següents per a comprovar si la barra pot suportar els esforços. Aquestes fórmules són per a barres de classe 1. Les hem extret del CTE-DB-SE-A.

Hem de fer aquesta comprovació.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} \leq 1$$

on;

$N_{t,Rd} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$ és la resistència plàstica a compressió de la secció

$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$; és la resistència plàstica a flexió de la secció

W_{pl} és el modul resistent plastic corresponent a la fibra més tensionada

$$W_{p \text{ secció rodona}} = \frac{Re^3 - Ri^3}{6}$$

$$W_p \text{ secció quadrada} = \left(\frac{bh^2}{4}\right) - (b - 2t) \left(\frac{h}{2} - t\right)^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{355 \text{ MPa}}{1,05} = 338,09 \text{ MPa}$$

Tots els valors que necessitem per a fer les comprovacions els trobarem a la Taula D-2. Aquests valors els hem trobat amb les expressions mostrades i l'ajuda del SAP 2000.

	Cordó inferior 40x40x5	Diagonal 30x30x5	Muntant 40x40x5	Cordó superior 40x40x8	Cordó horitzontal 30x30x5	Braç 40x5
A (mm²)	700	500	700	1024	500	550
Wy (mm³)	4625	2375	4625	6272	2375	3083
Wpl	9250	4750	9250	12544	4750	6167
I (mm⁴)	145833	54167	145833	185685	54167	85903
Cas pitjor	Comb. 1	Comb. 2	Comb. 1	Comb. 1	Comb. 2	Comb. 1
Ned (N)	-67230	30110	-17600	15560	-10000	27250
My (Kn-m)	-0,91	0,21	-1,71	-2,8	0,82	-1,09

Taula D-2 - Paràmetres de les barres

Resultats					
Cordó inferior 40x40x5	Diagonal 30x30x5	Muntant 40x40x5	Cordó superior 40x40x8	Cordó horitzontal 30x30x5	Braç 40x5
0,575	0,309	0,621	0,615	0,451	0,376

Taula D-3 - Resultats de la comprovació de la secció

Com que cap valor és més gran o igual a 1, llavors cap peça trenca.

D.2 Resistència de les barres

Es realitzarà el càlcul de la resistència de les barres a compressió i flexió. Aquesta no haurà de superar la resistència plàstica de la secció bruta ni la resistència última de la barra a pandeig.

Aquesta comprovació només serà necessària en les barres que realment puguin patir pandeig. Perquè sigui així la llargada de la barra ha de ser deu vegades més gran que l'amplada de la secció. Excloem el cordó superior i el braç ja que la seva longitud és més petita que deu vegades l'amplada.

Com que no tenim esforços de torsió en cap de les barres, ens serà suficient amb comprovar que es compleixi la següent expressió:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

χ_{LT} és el coeficient de pandeig lateral, i de valor 1 en peçes no susceptibles al pandeig per torsió

$e_{N,y} = 0$, $c_{m,y} = 0,9$ en el cas de les nostres barres

$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C.RD}}$ és el coeficient de interacció de la secció de la peça

$$N_{C.RD} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ és el valor de la esbeltesa reduïda per l'eix y - y

$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I$ és el valor de la resistència

L_k es la longitud de pandeig de la peça

X_y el podem trobar en la taula de la corba de pandeig

Tabla 6.2 Curva de pandeo en función de la sección transversal

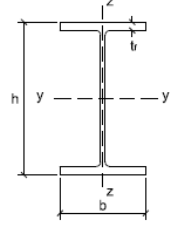
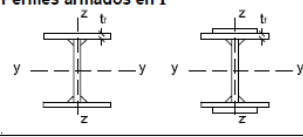


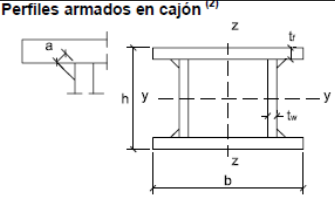
Tipo de sección	Tipo de acero Eje de pandeo ⁽¹⁾	S235 a S355		S450		
		y	z	y	z	
Perfiles laminados en I 	$h/b > 1,2$	$t \leq 40$ mm	a	b	a_0	a_0
		$40 \text{ mm} < t \leq 100$ mm	b	c	a	a
	$h/b \leq 1,2$	$t \leq 100$ mm	b	c	a	a
		$t > 100$ mm	d	d	d	c
Perfiles armados en I 	$t \leq 40$ mm	b	c	b	c	
	$t > 40$ mm	c	d	c	d	
Agrupación de perfiles laminados soldados 		c	c	c	c	
Tubos de chapa simples o agrupados 	laminados en caliente	a	a	a_0	a_0	
	conformados en frío	c	c	c	c	
Perfiles armados en cajón ⁽²⁾ 	soldadura gruesa: $a/t > 0,5$ $b/t < 30$ $h/t_w < 30$	c	c	c	c	
	en otro caso	b	b	b	b	

Figura D.3 - Corbes de pandeig en funció de la secció transversal

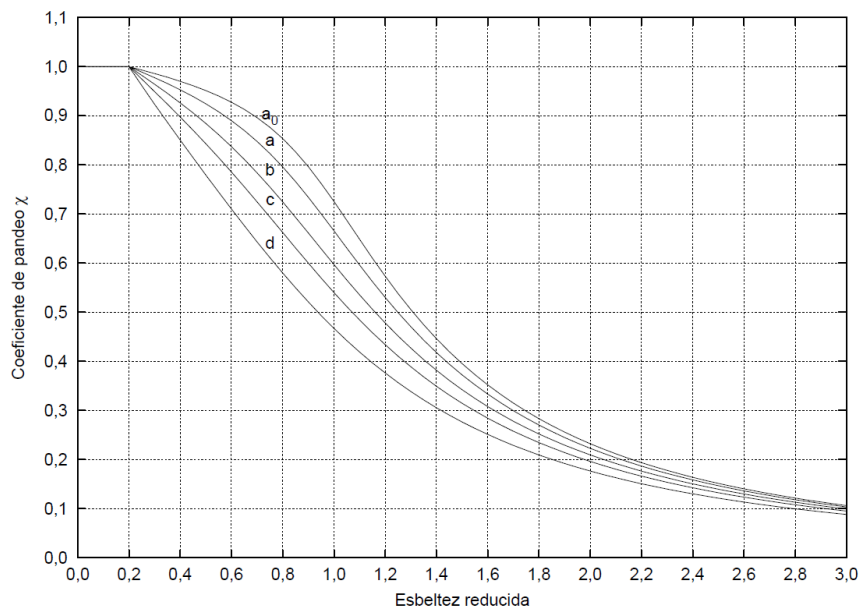


Figura 6.3 Curvas de pandeo

Figura D.4 - Corbes de pandeig

D.2.1 Cordó inferior

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{1000}\right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 145833 = 302255,9 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 338}{302255,9}} = 0,885$$

Amb la gràfica trobem un χ_y de 0,78.

$$N_{C,RD} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 700 \cdot 338 = 236600 \text{ N}$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,RD}} = 1 + (0,885 - 0,2) \cdot \frac{67230}{0,78 \cdot 236600} = 1,24$$

Un cop obtinguts tots els valors, podem fer la comprovació final per a elements comprimits i flectats.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{67230}{0,78 \cdot 700 \cdot 338} + 1,24 \cdot \frac{0,9 \cdot 910000 + 0 \cdot 67230}{1 \cdot 4625 \cdot 338} \leq 1$$

$$1,018 \leq 1$$

D.2.2 Diagonal

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{1421,3}\right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 54167 = 55575,36 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{500 \cdot 338}{55575,36}} = 1,744$$

Amb la gràfica trobem un χ_y de 0,3.

$$N_{C.RD} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 500 \cdot 338 = 169000 \text{ N}$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C.RD}} = 1 + (1,744 - 0,2) \cdot \frac{30110}{0,3 \cdot 169000} = 1,917$$

Un cop obtinguts tots els valors, podem fer la comprovació final per a elements comprimits i flectats.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{30110}{0,3 \cdot 500 \cdot 338} + 1,917 \cdot \frac{0,9 \cdot 210000 + 0 \cdot 30110}{1 \cdot 2375 \cdot 338} \leq 1$$

$$1,04 \leq 1$$

D.2.3 Muntant

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{670,8}\right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 145833 = 671721 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 338}{671721}} = 0,593$$

Amb la gràfica trobem un χ_y de 0,88.

$$N_{C.RD} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 700 \cdot 338 = 236600 \text{ N}$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C.RD}} = 1 + (0,593 - 0,2) \cdot \frac{17600}{0,88 \cdot 236600} = 1,033$$

Un cop obtinguts tots els valors, podem fer la comprovació final per a elements comprimits i flectats.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{17600}{0,88 \cdot 700 \cdot 338} + 1,033 \cdot \frac{0,9 \cdot 1710000 + 0 \cdot 17600}{1 \cdot 4625 \cdot 338} \leq 1$$

$$1,101 \leq 1$$

D.2.4 Cordó horitzontal

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{1100}\right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 54167 = 92783 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 338}{92783}} = 1,59$$

Amb la gràfica trobem un χ_y de 0,35.

$$N_{C,RD} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 500 \cdot 338 = 169000 \text{ N}$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,RD}} = 1 + (1,59 - 0,2) \cdot \frac{10000}{0,35 \cdot 169000} = 1,23$$

Un cop obtinguts tots els valors, podem fer la comprovació final per a elements comprimits i flectats.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{10000}{1 \cdot 500 \cdot 338} + 1,23 \cdot \frac{0,9 \cdot 820000 + 0 \cdot 10000}{1 \cdot 2375 \cdot 338} \leq 1$$

$$1,29 \leq 1$$

D.3 Resultats

La comprovació de la secció ha sigut favorable. Els perfils triats de les barres són suficients segons la normativa i estan homologats.

La comprovació de les barres no és tant clar. Algunes de les barres donen un valor molt pròxim al límit. I n'hi ha una que el sobrepassa, suficient com per a destacar-ho. Però hem de ser conscients que els valors que hem utilitzat per a fer els càlculs (de forces axials i moments) provenen del SAP 2000. Són els resultats de les combinacions 1 i 2 de les ELU. En aquestes combinacions havíem mencionat que la sobrecàrrega està força sobredimensionada per a la rampa, fet que genera tensions més elevades. Per això, no ens hem d'alterar en excés sobre el fet que no superi la comprovació, ja que el valor real és més baix.

ANNEX E: TERRA DE TAULONS DE FUSTA

La fusta és un material que sovint s'associa amb elegància. Ens recorda al confort, al benestar i a comoditats en general. També és un material agradable a la vista, i combinat amb metall aconsegueix restar-li part de l'enfoc industrial i funcional. Podríem haver decidit fer el terra de la passarel·la de metall, per exemple una reixa d'acer. Però llavors no tindria cap atractiu. Amés, construint el terra de fusta tenim l'afegit que és més còmode passejar-hi per sobre. Això és degut a que la fusta és capaç d'absorbir amb més efectivitat les vibracions que generem al caminar que l'acer.

No cal dir que les seves característiques com a material estructural són molt més pobres que l'acer. Però nosaltres la volem utilitzar com a terra de la passarel·la. Els taulons de fusta estaran recolzats en els cordons inferiors. Només hauran de suportar les forces derivades del pas dels vianants i la neu i el seu propi pes. L'acer que hi ha a sota és el que s'encarrega dels altres esforços.

Com hem dit anteriorment, els taulers es col·locaran de forma horitzontal i reposarà cada un dels extrems sobre un dels cordons inferiors. Cada tauló de fusta tindrà les següents dimensions:

Amplada	0,09 m
Alçada	0,04 m
Llargària	1,1 m
Àrea secció	$3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Àrea cara	$0,099 \text{ m}^2$
Volum	$3,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Taula E-1 - Geometria del tauló

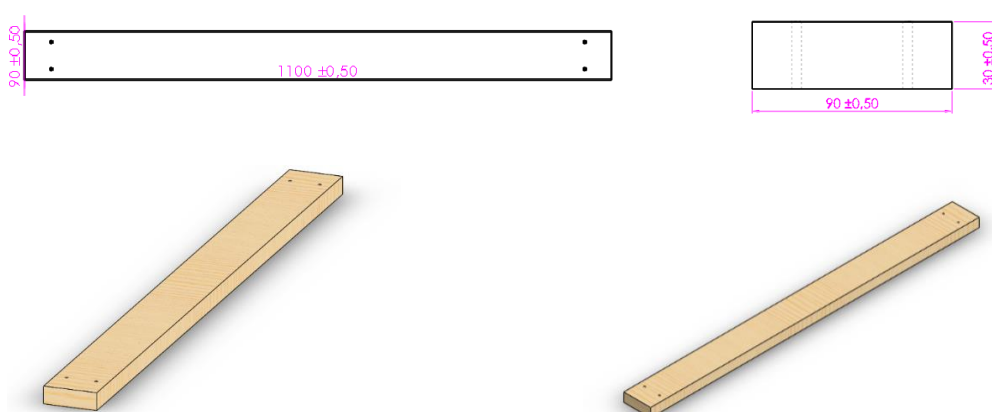


Figura E.1 - Tauló en Solidworks

E.1 Característiques de la fusta

Utilitzarem una fusta serrada conífera de classe C30. Preferim una classe conífera perquè aquí a Espanya és el tipus de fusta que més abunda.

En el CTE-DB-SE-M trobem les propietats de les fustes segons la norma (UNE-EN 338:2009). Les podem trobar a la taula extreta del mateix.

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Figura E.2 - Característiques de les fustes

Per com estan col·locats els taulons, aquests només treballaran a flexió. És per això que a l'hora d'avaluar la viabilitat d'utilitzar un tipus de fusta ens hem de basar en si pot aguantar els esforços en base a la resistència de flexió.

E.2 Càrregues sobre els taulons

Com hem destacat a la introducció d'aquest annex, els taulons de fusta només han d'aguantar els vianants. Per això, no té sentit aplicar-hi per exemple els esforços del vent.

Calcularem la càrrega distribuïda que hem d'aplicar per a un tauler de fusta per a després poder-ne fer una simulació. El càlcul serà similar a la combinació 1 que hem utilitzat per a comprovar el ELS i ELU.

$$\text{Combinació 1: } G_{pes\ propi} \times 1,35 + Q_{ús} \times 1,35 + Q_{neu} \times 1,5 \times 0,8$$

$$G_{pes\ propi} = V \cdot \rho = 3,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 460 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} = 0,018 \text{ kN/m}$$

$$Q_{ús} = q_{sobrecàrrega} \cdot Amplada = 5 \text{ kN/m} \cdot 0,09 \text{ m} = 0,45 \text{ kN/m}$$

$$Q_{neu} = 0,22 \text{ kN/m}$$

Substituint a l'expressió de la combinació per el valors que hem trobat, aconseguim el valor de la càrrega distribuïda total.

$$Q_{total} = 0,018 \times 1,35 + 0,45 \times 1,35 + 0,22 \times 1,5 \times 0,8 = 0,896 \text{ kN/m}$$

E.3 Simulació del tauló amb ANSYS

El SAP 2000 és un programa molt complet a l'hora de realitzar estudis on hi hagi una o més barres de diferents seccions i materials. Però, té la limitació que està enfocat a formigó i acers. En les llibreries es poden trobar altres metalls però de base no té facilitats per a treballar-hi.

En canvi, l'Ansys ens permetrà realitzar la simulació del tauló de fusta amb força senzillesa. Per a fer-ho, ho realitzarem mitjançant l'entrada de codi. Al costat de cada codi expliquem que fa cada part.

```

FINISH !tencar els moduls anteriors
/CLEAR !netejar els moduls anteriors
/TITLE, Taulo de fusta, barra 2D

/PREP7 !iniciar PRE-PROCESSOR MODULE
!Parametres
q=0.896 !carrega distribuïda en N/mm
b=40 !base de la seccio en mm
h=90 !alcada de la seccio en mm
Ll=1100 !llargada en mm
ET,1,BEAM188 !tipus de barra #1: BEAM188 (6 DoF)
KEYOPT,1,3,3 !element #1 keyoption 3=3 (cubic shape function)
MP,EX,1,12000 !Modul de Young per al material #1
MP,PRXY,1,0.43 !Modul de Poisson per el material #1
SECTYPE,1,BEAM,RECT !Barra rectangular per al material #1
SECOFFSET,CENT !centrem la seccio a l'eix (offset=0)
SECDATA,b,h !informacio de la seccio, amplada, alcada

!Geometria de les barres
K,1,0,0,0 !keypoint, numero de barra i coordenades
K,2,Ll,0,0

```

```

L,1,2,50 !linia, primer keypoint i keypoint final i nombre de
divisions
LMESH,1,1,1 !fer mesh a la linia 1
FINISH

/SOLU !iniciar SOLUTION MODULE
!Restriccions i carregues
DK,1,ALL !displacement x for keypoint 1
DK,2,ALL
LSEL,S,,,1 !seleccionar la linia
ESLL,S !seleccionar els nodes de la linia
SFBEAM,ALL,2,PRES,q !aplicar pressio a la cara 2 (eix y)
ESEL,ALL !seleccionar tots els nodes
/PBC,all !mostrar BC quan es solucioni
SOLVE !calcular els valors per a les carregues i restriccions
donades
FINISH

/POST1 !iniciar POST-PROCESSOR MODULE
PLDISP,1 !diagrama de deformacio
PRNSOL,U,Y !list y-displacement
/ESHape,1,1 !ensenyar la forma incicial dels elements
PLNSOL,S,X !plot de les tensions en X
PLNSOL,S,EQV !plot de les tensions segons el criteri de Von Mises

```

El codi està comentat per explicar que fa cada comanda. Podem veure el tauló de fusta amb les càrregues i les restriccions Figura E.3.

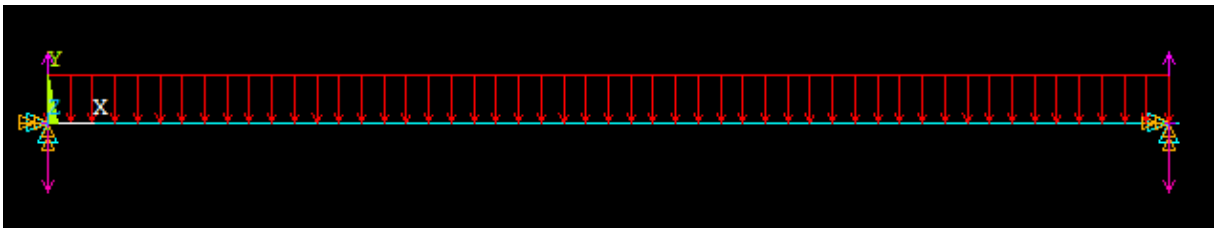


Figura E.3 - Representació en ANSYS del tauló amb les BC

Comprovem el ELU. No ens interessa que amb el pas de les persones la llum dels taulons sigui gaire gran, ja que pot donar a pensar que l'estructura sigui poc segura i inestable. Per a fer-ho compararem la llum tenint en compte la sobrecàrrega i la llum només amb permanent i neu. Si la diferència supera 1/1200 respecte la longitud del tauló, llavors no serà prou rígid.

Màxima deformació sense sobrecàrrega	Màxima deformació amb sobrecàrrega
24 -0.17416	24 -0.56962
25 -0.17697	25 -0.57882
26 -0.17867	26 -0.58437
27 -0.17924	27 -0.58623
28 -0.17867	28 -0.58437
29 -0.17697	29 -0.57882
30 -0.17416	30 -0.56962

Figura E.4 - Valors de màxima deformació ANSYS

En la taula, podem veure que el valor màxim de deformació d'entre els 50 nodes es troba al node 27.

$$Fletxa = |-0,58623 + 0,17924| = 0,40699 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{1200} \geq Fletxa \rightarrow \frac{1100}{1200} \geq 0,40699 \rightarrow 0,916 \text{ mm} \geq 0,407 \text{ mm}$$

Com podem observar, un gruix de 4 cm és suficient per el tauló.

També comprovem el ELU. Amb Von Mises.

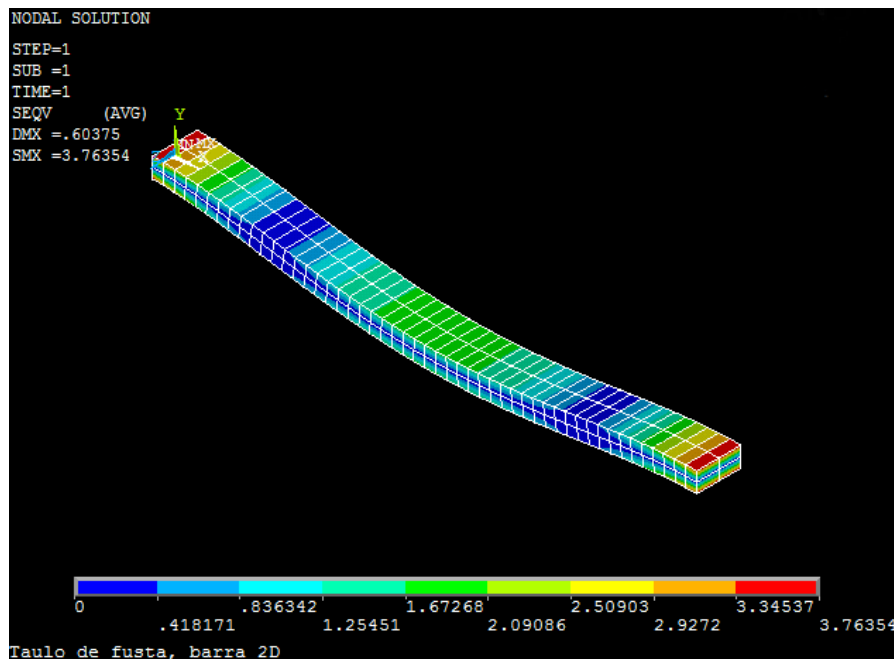


Figura E.5 - Comprovació ELU en ANSYS

Gràcies a que cada tauló té una secció petita, ha d'aguantar poca sobrecàrrega. Això permet veure un diagrama com aquest, on les tensions són petites i la resistència molt més elevada.

Però el si disminuïm el gruix, la peça es deforma en gran mesura fent impossible que la llum sigui més petita de $L/1200$. No tenim altre mesura que mantenir aquest gruix, tot i que per tensions podríem tenir una peça més reduïda.

ANNEX F: NUSOS

Els nusos són una de les unions més comunes en les estructures. Dimensionat correctament, la unió serà articulada i transmetrà els esforços als que està sotmès. Existeix un ventall força ampli per a unir dos elements en un nus. Nosaltres utilitzarem el mètode de la soldadura.

Hi ha diferents varietats de nusos, els més corrents són els que podem veure a la Figura F.1.

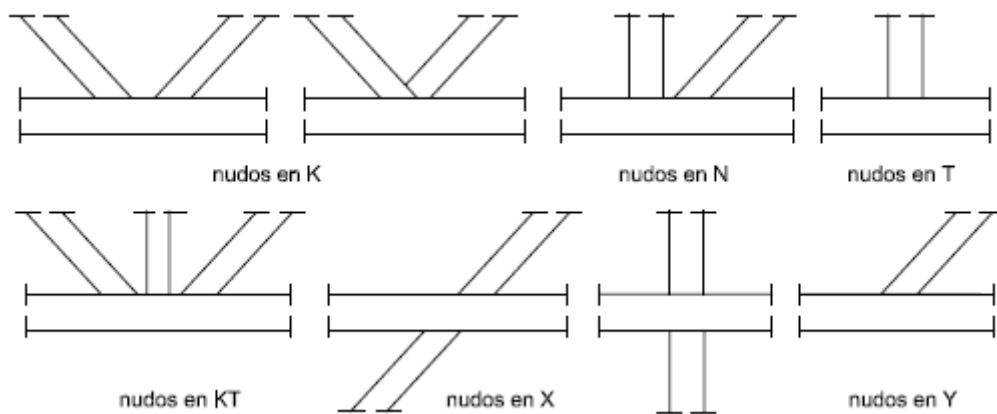


Figura F.1 - Tipus de nusos segons CTE

F.1 Nus en la gelosia de la planta

El primer nus que comprovem, el trobem a la planta de l'estructura. Hi haurà dos nusos amb les mateixes característiques per a cada part, fent un total de 14.

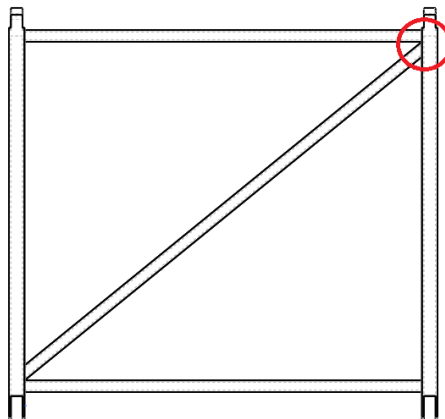


Figura F.2 - Geometria planta

Es tracta de la intersecció entre el cordó inferior, el cordó horitzontal i la diagonal. A la Figura F.3 tenim l'expressió per a calcular la resistència del nus en el cas que els perfils de les barres

siguin rectangulars. Les instruccions per a fer el càlcul de unions amb perfils quadrats les hem obtingut de la normativa CTE-DB-SE-A.

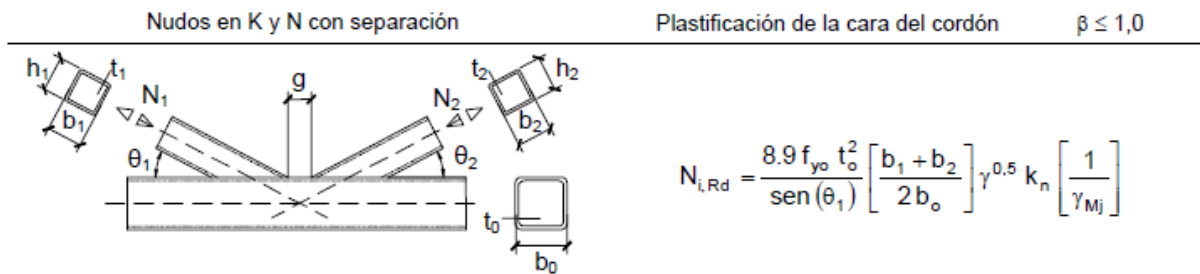


Figura F.3 - Expressió pel càlcul de la resistència en nusos K i N

Aquesta expressió calcula la unió més dèbil i la resistència total del nus serà donada per aquest valor.

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 f_{yo} t_o^2}{\sin \theta_1} \left[\frac{b_1 + b_2}{2 b_o} \right] \gamma^{0,5} k_n \left[\frac{1}{\gamma_{Mj}} \right] \quad (\text{Eq.10})$$

on

$$\gamma = \frac{b_o}{2t_o} ; \gamma_{Mj} = 284 \text{ N/mm}^2 \text{ (coeficient de resistència parcial d'unió)} ; k_n = 1,5$$

Substituïm els valors a l'expressió i calculem el valor de la resistència del nus.

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot 338 \cdot (5)^2}{\sin 45^\circ} \left[\frac{30 + 0}{2 \cdot 40} \right] \left(\frac{40}{2 \cdot 5} \right)^{0,5} \cdot 1,5 \cdot \left[\frac{1}{284} \right] = 421,3 \text{ N/mm}^2$$

El valor de la resistència del nus és lleugerament superior al valor de la mateixa resistència del material. Aleshores mentre els anàlisis de ELU i ELS siguin favorables i no ens hem de preocupar que el nus trenqui.

F.2 Nusos en la gelosia vertical

Hem de comprovar dos nusos en Y, que els podem veure representats a la Figura F.4.

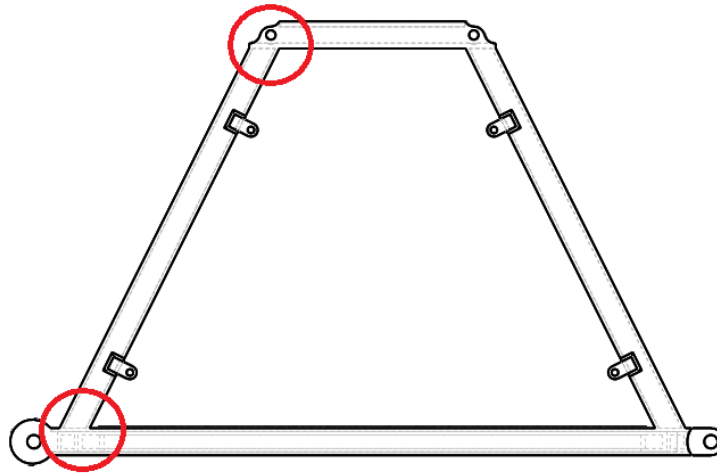


Figura F.4 - Geometria alçat

El que soldem és un extrem del muntant a el cordó inferior i l'altre al superior. Degut a que l'angle no canvia i l'amplada d'ambdós cordons són iguals, la resistència per als dos nusos serà la mateixa. Només ens farà falta fer un càlcul per a saber la resistència.

Nudos en X, Y y T	Plastificación de la cara del cordón	$\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{yo} t_0^2}{(1-\beta) \sin(\theta_1)} \left[\frac{2\beta}{\sin(\theta_1)} + 4(1-\beta)^{0,5} \right] k_n \left[\frac{1}{\gamma_{Mj}} \right]$	

Figura F.5 - Expressió pel càlcul de la resistència en nusos X, Y i T

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{yo} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left[\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4(1-\beta)^{0,5} \right] k_n \left[\frac{1}{\gamma_{Mj}} \right] \quad (\text{Eq.11})$$

on

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = 1 \rightarrow \text{el valor màxim de } \beta \text{ (plastificació de la cara del cordó) és } 0,85$$

Substituïm els valors a l'expressió i calculem el valor de la resistència del nus.

$$N_{1,Rd} = \frac{338 \cdot (5)^2}{(1-0,85) \sin(63,43^\circ)} \left[\frac{2 \cdot 0,85}{\sin(63,43^\circ)} + 4(1-0,85)^{0,5} \right] 1 \left[\frac{1}{284} \right] = 765,12 \text{ N/mm}^2$$

Igual que en l'altre cas, el valor de la resistència del nus és superior al del material. Mentre no es superi aquest valor en els estudis de ELS i ELU el nus no trencarà.

F.3 Nusos en T perpendiculars

Segons la Norma MV 104-1966 no és necessari fer el càlcul d'aquestes unions (Luis Felipe Rodríguez Marín, 1992)

Una unió a topar que uneixi totalment i amb penetració completa dos peces, prolongant una de elles amb igual o major secció fins a trobar l'altra, es considera de igual resistència que la peça que perllonga.

En conseqüència, les unions a topar no necessiten ser calculades, havent en canvi de comprovar que es compleixin les condicions establertes a la Norma MV 104-1966.

ANNEX G: PASSADORS

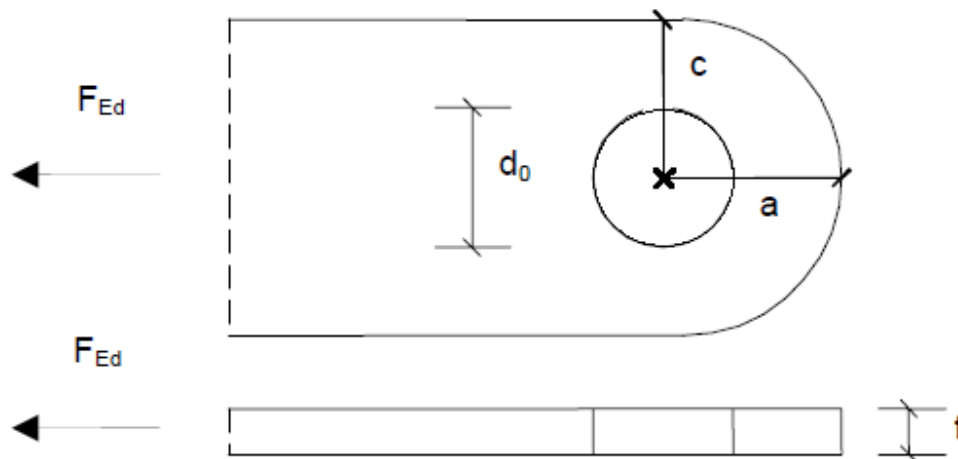
Tenim una quantitat considerable de unions on necessitem permetre el gir. Per a permetre el gir en aquestes articulacions utilitzarem passadors.

Hi ha una normativa referent a passadors fets d'acer a la "CTE-DB-SE-A". Ens especifica quina geometria mínima han de tenir els components en funció del gruix i viceversa. També hi ha un seguit de comprovacions per a saber si el passador és trencarà sota els esforços.

G.1 Geometria del passador

Ens interessa aprofitar el mateix gruix de les barres per a fer els passadors, així disminuïm el nombre d'orelles de xapa que necessitem per als passadors. Les dimensions geomètriques s'obtidran de la Figura G.1:

Espesor prefijado



$$a \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{2d_0}{3}; \quad c \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{d_0}{3}$$

Figura G.1 - Càlcul de la geometria amb gruix definit

On:

F_{Ed} correspon a la força axial calculada

G.2 Verificacions

G.2.1 Resistència a tallant

Es comprovarà la següent expressió:

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd} = 0,6 \frac{\pi \phi^2 f_{ub}}{4 \gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.12})$$

On:

$F_{V,Ed}$ és la tallant calculada

G.2.2 Resistència a flexió

L'equació que dóna lloc al moment resistent és:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = 0,8 \frac{\pi \phi^3 f_{yb}}{32 \gamma_{M2}} \quad (\text{Eq.13})$$

On:

M_{Ed} és el moment flector calculat en el passador. La fórmula per a calcular-ho, la podem veure a la il·lustració següent:

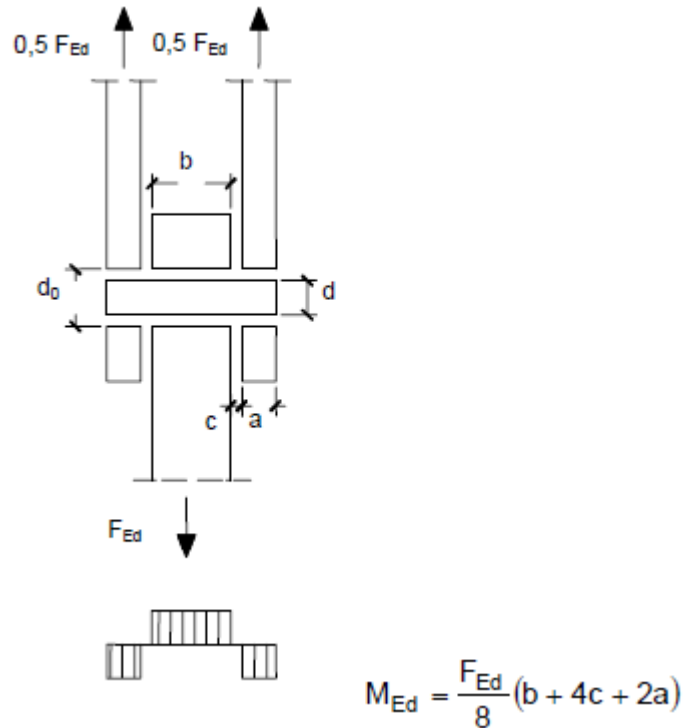


Figura G.2 - Càlcul del moment que pateix el passador

G.2.3 Resistència combinada a tallant i flexió

Finalment, hem de comprovar la resistència combinada. Com podem comprovar observant l'equació, si s'han superat els dos primers tests satisfactòriament aquest automàticament també serà passat.

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

G.3 Càlculs en unions

Ara que sabem com hem de procedir, és hora de determinar els diàmetres dels passadors.

G.3.1 Unió cordó inferior amb cordó inferior

Recordem que el perfil del cordó inferior és de 40x40x5 mm.

$$M_{Ed} = \frac{64577 \text{ N}}{8} (30 + 2 \times 5 + 4 \times 0,5) \text{ mm} = 324499 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sabent M_{Ed} , podem utilitzar la Eq. 13 per a obtenir el ϕ mínim:

$$\sqrt[3]{\frac{324499 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 0,8 \times 32 \times 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}}{\pi}} \leq \phi; \phi \geq 21,03 \text{ mm}$$

Així, que si agafem un diàmetre de **20 mm** hauria de ser més que suficient. Utilitzem les dues expressions de la Figura G.1 per a obtenir les dimensions a i c.

$$a \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{2d_0}{3}; \frac{64577 \text{ N}}{2 \times 5 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{2 \times 30 \text{ mm}}{3} \leq 32,43 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed}}{2t f_{yd}} + \frac{d_0}{3}; \frac{64577 \text{ N}}{2 \times 5 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{30 \text{ mm}}{3} \leq 22,43 \text{ mm}$$

Per tant, a i c seran **30 mm** i **25 mm** respectivament.

$$64,57 \text{ kN} \leq 0,6 \frac{\pi(30 \text{ mm})^2}{4} \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}}; 64,57 \text{ kN} \leq 120,448 \text{ kN}$$

G.3.2 Unió cordó superior amb braç

El perfil del braç és de 40x5 i el cordó superior 40x40x8 mm.

Les forces més elevades les hem trobat en l'anàlisi de la ELU – combinació 1. La F_{Ed} de més magnitud és de 34 kN.

$$M_{Ed} = \frac{13000 \text{ N}}{8} (24 + 2 \times 8 + 4 \times 0,5) \text{ mm} = 68250 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sabent M_{Ed} , podem utilitzar la Eq. 13 per a obtenir el \emptyset mínim:

$$\sqrt[3]{\frac{68250 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 0,8 \times 32 \times 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}}{\pi}} \leq \emptyset ; \emptyset \geq 12,5 \text{ mm}$$

Així, que si agafem un diàmetre de **12,5 mm** hauria de ser més que suficient. Utilitzem les dues expressions de la Figura G.1 per a obtenir les dimensions a i c.

$$a \geq \frac{F_{Ed}}{2tf_{yd}} + \frac{2d_0}{3} ; \frac{13000 \text{ N}}{2 \times 8 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{2 \times 15 \text{ mm}}{3} \leq 12,4 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed}}{2tf_{yd}} + \frac{d_0}{3} ; \frac{13000 \text{ N}}{2 \times 8 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{15 \text{ mm}}{3} \leq 7,4 \text{ mm}$$

Per tant, a i c seran **12,5 mm** i **7,5 mm** respectivament.

A continuació realitzarem la verificació a tallant. Amb el SAP trobem el valor de $F_{V,Ed}$, que és de 13 kN.

$$13 \text{ kN} \leq 0,6 \frac{\pi(30 \text{ mm})^2 f_{ub}}{4 \gamma_{M2}} ; 13 \text{ kN} \leq 120,448 \text{ kN}$$

Realitzades les verificacions, donem per bones les dimensions trobades per al passador.

G.3.3 Unió braç amb braç

Ens interessa que sigui el més semblant als altres passadors, per a simplificar la forma de les peces. Així doncs, un dels passadors tindrà la dimensió b de 24 mm.

L'altre braç, tindrà un espai al centre per a acoblar-lo i unes orelles de 5 mm de gruix.

$$M_{Ed} = \frac{24545 \text{ N}}{8} (24 + 2 \times 8 + 4 \times 0,5) \text{ mm} = 128861 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sabent M_{Ed} , podem utilitzar la Eq.13; *Error! No se encuentra el origen de la referencia.* per a obtenir el \emptyset mínim:

$$\sqrt[3]{\frac{128861 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 0,8 \times 32 \times 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}}{\pi}} \leq \emptyset ; \emptyset \geq 15,46 \text{ mm}$$

Així, que si agafem un diàmetre de **15 mm** hauria de ser més que suficient. Utilitzem les dues expressions de la Figura G.1 per a obtenir les dimensions a i c.

$$a \geq \frac{F_{Ed}}{2tf_{yd}} + \frac{2d_0}{3} ; \frac{24545 \text{ N}}{2 \times 8 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{2 \times 20 \text{ mm}}{3} \leq 17,87 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed}}{2tf_{yd}} + \frac{d_0}{3} ; \frac{24545 \text{ N}}{2 \times 8 \text{ mm} \times 338,1 \text{ MPa}} + \frac{20 \text{ mm}}{3} \leq 17,87 \text{ mm}$$

Per tant, a i c seran **20 mm** i **15 mm** respectivament.

A continuació realitzarem la verificació a tallant. Amb el SAP trobem el valor de $F_{V,Ed}$, que és de 24,5 kN.

$$24,5 \text{ kN} \leq 0,6 \frac{\pi(30 \text{ mm})^2}{4} \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} ; 24,5 \text{ kN} \leq 120,448 \text{ kN}$$

Realitzades les verificacions, donem per bones les dimensions trobades per al passador.

ANNEX H: PISTONS

Els pistons són una part important de l'estructura. Ens serveixen com a element estructural i són responsables de l'acció de plegar i desplegar l'estructura. El disseny escollit en preveu l'ús de 14.

Els dos pistons més importants són els adjacents a la base, ja que són els dos que requeriran de més potència. Aquests dos, són els autors que la passarel·la un cop desplegada s'ajusti a l'alçada que ens interessa superar. És a dir, amb la seva manipulació, podem controlar el pendent de la rampa. Aquests dos pistons es controlaran apart de la resta.

Podem fer-nos una idea sobre el nombre de kN de tracció i empenta que han de produir.

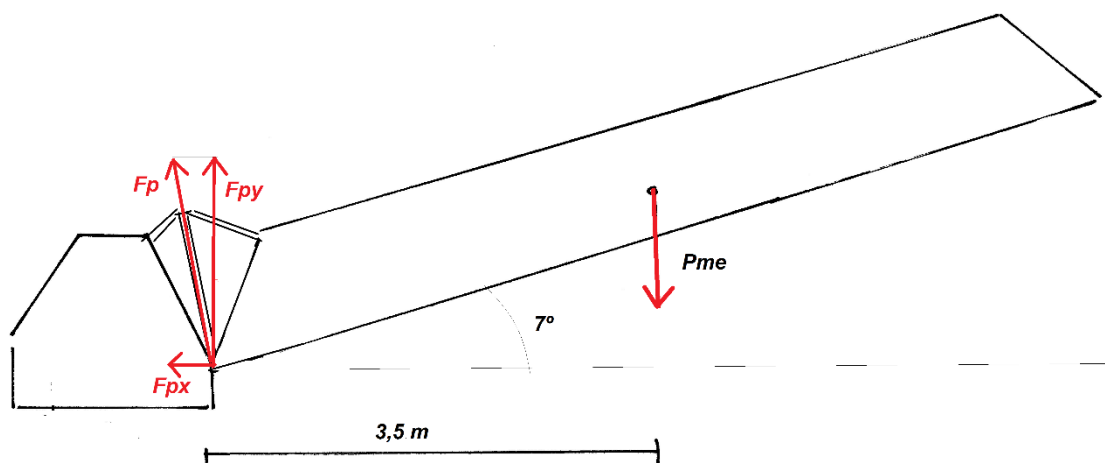


Figura H.1 - Forces del conjunt

Observant la imatge anterior, que es correspon a un estudi de les forces externes de la nostra passarel·la i aplicant sumatori de moments obtenim:

$$\text{Pes de les set seccions} = \left(0,578 + 0,161 + 0,065 \left(\frac{kN}{m} \right) \right) \cdot 7 \text{ m} = 5628 \text{ N}$$

$$\sum M_A \rightarrow P_g \times d_1 = F_p \times \sin 7^\circ - F_p \times \cos 7^\circ \rightarrow 3,5 \text{ m} \times 5628 \text{ N} \rightarrow F_p = -22623,78 \text{ N}$$

Tenim dos pistons per banda, així que l'esforç que ha de fer cada un es redueix a la meitat.

Força que ha de fer un pistó = 11,312 kN

L'empresa ESPERIA S.A. subministra una sèrie de pistons de normativa ISO 3320. Aquests pistons treballen a 250 bars.

ØPISTON	ØVÁSTAGO PISTON ROD Ø	SECCIONES (cm ²)AREAS (cm ²)			FUERZAS (kg)* FORCES (kg)*		
		PISTON	VÁSTAGO PISTON ROD	ANULAR ANNULAR	EMPUJE PUSH	TRACCIÓN PULL	DIFERENCIAL DIFFERENTIAL
40	22	12,57	3,80	8,77	2.827,4	1.972,1	855,3
	28		6,16	6,41		1.442,0	1.385,4

Figura H.2 - Propietats dels pistons elegits

Com podem veure a la Figura H.2, un pistó de 40 mm de gruix genera 27736,794 N empenyent i 14146 N a tracció.

El pistó compleix amb els nostres requisits. El triem per al nostre conjunt.

ANNEX I: MATERIALS

En el mercat hi ha una quantitat considerable de materials que ens poden servir per a construir l'estructura. Cada material té els seus avantatges i inconvenients, i per això és important considerar-ne l'aplicació.

L'elecció del material o materials dels quals estarà composta la passarel·la es basarà en un criteri de pura funcionalitat.

I.1 Materials escollits per a l'estructura i base

I.1.1 Acer S355J2+N – DIN 17121 St-52.3N (355 MPa)

És un acer d'ús comú en el món de la construcció. Serà el principal material estructural i el que aguantarà tots els esforços. L'utilitzarem tant a l'estructura de la passarel·la com a la base.

Aquest acer, té la característica que pot treballar bé fins a temperatures inferiors a -20°C . És una de les raons per les quals l'hem triat, ja que la passarel·la haurà de treballar en diferents localitats i estacions.

Els tubs d'acer seran amb acabat en calent. Haurem de revestir-los amb una capa de pintura per protegir-los de la oxidació.



Figura I.1 – Perfils de barres d'acer en cadena de fabricació

Les seves propietats mecàniques són les següents.

Característiques mecàniques de l'acer S355J2+N	
Densitat (g/dm³)	7850
Mòdul de Young (MPa)	$2,1 \cdot 10^5$
Coefficient de dilatació tèrmica (K⁻¹)	$1,17 \cdot 10^{-5}$
Coefficient de Poisson	$\nu=0,3$
Resistència elàstica (N/mm²)	355
Resistència a la tracció (N/mm²)	490-630
Test d'impacte (J)	27

Taula I-1 - Propietats mecàniques de l'acer DIN 17121

El material està compost per:

C %	Si %	Mn %	P %	S %
<0,22	<0,55	<1,6	<0,035	<0,035

I.2 Materials alternatius de l'estructura descartats

I.2.1 Acer S275J2+N – DIN St 44-3 N (275 MPa)

És un acer que comparteix pràcticament les mateixes característiques que l'acer que hem acabat escollint. També pot treballar a temperatures de -20°C. Però aquest acer té unes característiques mecàniques inferiors. En concret la resistència és un 22% inferior.

Donat que ambdós acers tenen la mateixa densitat (7850 g/m³), el resultat seria una estructura aproximadament un 22% més pesada. I justament un dels objectius és fer-la mòbil. L'extra pes de la rampa obligaria a posar més contrapès a la base per a evitar la bolcada d'aquesta.

I.2.2 Acer Corten

És un acer força comú en exteriors a Estats Units. És fàcilment reconeixible per la capa característica d'òxid que envolta la superfície, protegint-lo de la corrosió i estalviant tractaments a la superfície del material. Comparteix aquesta similitud amb l'alumini, que és el

metall més reconegut per aquesta propietat. Gràcies a aquesta capa d'òxid l'acer de l'interior manté les seves propietats.



Figura I.2 - Perfils tubulars d'acer corten

Malauradament la capa d'òxid dona un acabat no desitjat en el nostre cas. El contacte amb l'armadura de fusta embrutaria aquesta última. Amés, l'usuari ha de poder recolzar-se en la barana de la passarel·la. Aquest acabat irregular pot ocasionar abrasions en les mans.

Però el principal inconvenient és la seva dificultat de ser treballat en forma de perfils tubulars. El seus usos més corrents són en forma de xapa, bigues i si es tracta de perfils amb forats a dins amb dimensions grans.

I.2.3 Alumini

Tot i que pugui semblar extravagant, no és estrany associar l'ús de l'alumini projectes d'aquest tipus. Sobretot en el nostre cas que volem reduir el pes de la rampa.

Una qualitat del metall és la gran maleabilitat i ductilitat. Ens permet obtenir perfils tubulars poc gruixuts. Però no és una característica que ens interessi particularment. Els perfils no seran tant prims com per a treure'n partit. La ductilitat del acer és suficient.



Figura I.3 – Barra quadrada perforada d'alumini

Un altre dels principals avantatges de l'alumini és la propietat de oxidar-se en la superfície i protegir-se així de la corrosió, estalviant així tractaments superficials.

Però no ens hem de confondre. En la majoria de casos, l'alumini quan s'utilitza com a element estructural es sol col·locar en parts secundaries, amb l'objectiu de reduir el pes del conjunt. Les seves propietats són força inferiors a les de l'acer (al voltant de un 55% inferiors) i el seu preu és més elevat. La seva obtenció i refinament és la causant de que sigui més car.

Una altra raó per a rebutjar-lo és la seva baixa tenacitat. No suporta bé les vibracions i els impactes. No és una característica que busquem, ens podria comprometre la integritat de l'estructura.

I.2.4 Titani

El titani és un metall amb unes característiques mecàniques excel·lents. Força semblant a l'acer, seria un candidat perfecte per a substituir-lo. És aproximadament un 30% més lleuger que aquest i amb un mòdul de Young similar. També cal destacar la seva resistència a la corrosió i oxidació.

Quan parlem de titani en estructures, parlem d'un dels seus aliatges, que es quan n'obtenim les millors propietats. Parlem de Ti-6Al-4V, que com el seu nom indica posseeix un 6% d'alumini i un 4% de vanadi.

El principal inconvenient és l'obtenció. El cost des de l'extracció del titani fins a la conversió en un material estructural arriba a ser 17 vegades més costós que el cost d'un acer al carboni. Tret que vulguem utilitzar la passarel·la en una operació espacial, l'aliatge queda descartat.



Figura I.4 - Barres circulars de Ti-6Al-4V

I.3 Materials escollits per a l'armadura

I.3.1 Conglomerat de fusta

.El conglomerat de fusta és un material que ens serveix per al propòsit de decorar. Modificant l'acabat superficial podem aconseguir l'efecte de fusta serrada però disminuint-ne el preu. El terra de l'estructura hem decidit que sigui de fusta. Per això la decisió de també triar que l'armadura sigui de fusta està condicionada.

Tot i que l'armadura no serveix cap propòsit estructural, necessitem un material que agunti el contacte que comporta el servei amb les persones i l'exterior. Per això triem una fusta conglomerada semidura. En podem veure les característiques a la Taula I-2.

Tabla E.9 Tableros de fibras duros y semiduros estructurales. Valores de las propiedades

Propiedades	Duros (UNE EN 622-2) Para su uso en ambiente húmedo			Semiduros (UNE EN 622-3) Para su uso en ambiente seco	
	Espesor nominal, t_{nom} , en mm			Espesor nominal, t_{nom} , en mm	
	$\leq 3,5$	$> 3,5$ a $5,5$	$> 5,5$	≤ 10	> 10
Resistencia (característica), en N/mm²					
- Flexión $f_{m,p,k}$	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
- Tracción $f_{t,p,k}$	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
- Compresión $f_{c,p,k}$	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
- Cortante, en el grueso $f_{v,p,k}$	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
- Cortante, en el plano $f_{r,p,k}$	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez (media), en N/mm²					
- A flexión $E_{m,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A tracción $E_{t,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A compresión $E_{c,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A cortante, en el grueso $G_{v,p}$	2100	2000	1900	1300	1200
Densidad, en kg/m³					
- Característica $\rho_{p,k}$	900	850	800	650	600

Taula I-2 - Propietats fusta conglomerada de l'armadura



Figura I.5 - Fusta conglomerada

I.4 Materials alternatius per a l'armadura

I.4.1 Alumini

Ja hem vist les propietats de l'alumini com a material estructural.

El principal avantatge que tindria per a l'ús com a armadura és la seva lleugeresa. En aquesta ocasió podríem utilitzar una xapa fina d'aquest material per a crear el recobriment que necessitem. Amb aquesta decisió garantiríem que l'armadura no es desprengués ni fes malbé amb la interacció amb els vianants. Amés n'augmentaríem la seva resistència al pas del temps.

També cal destacar que és un material ignífug. Si busquéssim aquesta característica a l'estructura també podríem substituir els taulons de fusta per un entramat d'alumini.

Cal dir que és una bona alternativa. La descartem per l'acabat decoratiu favorable de la fusta i pel seu preu més elevat de l'alumini.



Figura I.6 - Xapa de alumini

I.4.2 Plàstic

Dins la família dels plàstics tenim una gran quantitat de productes que ens farien la funció. De fet, ho podem enfocar de diferents maneres i trobar més d'un plàstic que s'ajusti als nostres requeriments.

Els principals avantatges d'aquest material són la resistència a les condicions d'intempèrie (impermeabilitat, resistència a la corrosió), la baixa densitat i la capacitat d'absorció de cops.

Alguns dels desavantatges és que certs plàstics poden degradar algunes de les seves propietats (com el color), perdre recobriments, baixa duresa, tenacitat...

Entre d'altres raons, el descartem perquè restaria serietat i maduresa al conjunt. I no aprofitem suficientment els seus avantatges perquè en sigui imprescindible el seu ús.

ANNEX J: BOLCADA DEL CONJUNT

El conjunt està en equilibri en situació de repòs. Ho està perquè es compleix la situació següent:

c. d. $g_{conjunt}$ estigui sobre la projecció de la base

El centre de gravetat de la base sempre estarà a dins del rang de la base de sustentació de la mateixa, en això no tenim problemes. Quan està en posició octagonal, les seccions estan en posició simètrica, i el centre de gravetat de les seccions està sobre la base.

Però hem d'assegurar-nos que també ho estigui mentre s'està desplegant i quan la rampa està totalment desplegada. En aquesta posició el *c. d. $g_{conjunt}$* es desplaça respecte la posició octagonal, i ens hem d'assegurar que està sota la base de sustentació.

Considerem que durant el desplegament de l'estructura els moviments dels pistons són lents, no hi ha variacions brusques de velocitat ni pèrdues d'energies. Mentre la condició esmentada abans es compleixi i el c.d.g. estigui en la base de sustentació, l'estructura no bolcarà.

El *c. d. $g_{conjunt}$* estarà més allunyat de la posició inicial en el moment en què l'estructura s'hagi desplegat totalment. Podem veure aquesta posició en la Figura J.1.

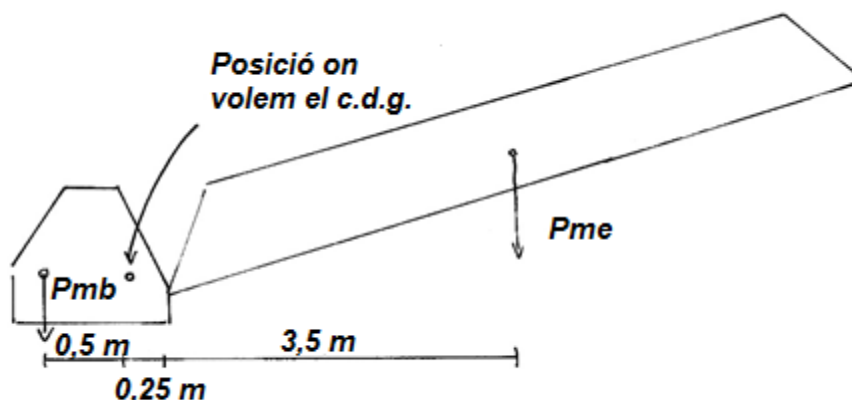


Figura J.1 - Equilibri de masses

Volem el *c. d. g. conjunt* del nostre disseny que estigui situat com a màxim a 0,75 m de la base, és a dir a 3/4 parts de l'inici. Si hi apliquem un sumatori de moments obtenim:

$$\sum M_{c.d.g.} = 0 \rightarrow P_{me} \cdot 3,75 \text{ m} = P_{mb} \cdot 0,5 \text{ m}$$

Si la estructura pesa aproximadament 570 kg, hem de tenir una base que pesi uns 4275 kg. Per tant haurem d'afegir força pes si no volem haver de fixar la passarel·la.

Per a augmentar el pes de la base, una de les solucions que es pot utilitzar és la de subjectar la base a una peana de formigó. És una de les solucions més econòmiques per a augmentar la massa d'aquesta. Amb formigons pesats de densitat 3000-5000 kg/m³ n'hauríem de fer prou ocupant un volum raonable.

Quatre tones de base és una magnitud a considerar. És un valor que ens limita la mobilitat que desitjàvem. Amb aquest pes, no podem pas remolcar l'estructura amb un vehicle civil. No només això, sinó que obligarà a que les dimensions de la peana de la base siguin més grans. Per aconseguir el pes requerit, hem de posar força formigó, que no ens proporciona cap avantatge extra. Només ens aporta pes i costos.

J.1 Estudi alternatiu – Barres remolcadores amb contrapesos

Una solució alternativa, és la de utilitzar les barres que uneixen la base amb el vehicle que la remolca com a contrapesos. De fet, és una idea que s'ha implementat en indumentària militar en el passat. També s'utilitza en les "comanches" remolcables de càmping quan es fixen al terra per períodes llargs. Però per a propòsits demostratius, l'altre exemple és més senzill d'il·lustrar com és el funcionament.

Com podem veure a la Figura J.2, l'extrem que es connecta al remolc té un suport per recolzar-se al terra. Les barres es poden desconnectar i obrir i donar estabilitat lateral a l'estructura. Si amés posem un pes a sobre del final de les barres, el que obtenim és desplaçar el centre de massa de la base, i en conseqüència desplaçem el c.d.g. del conjunt i el fem més estable.

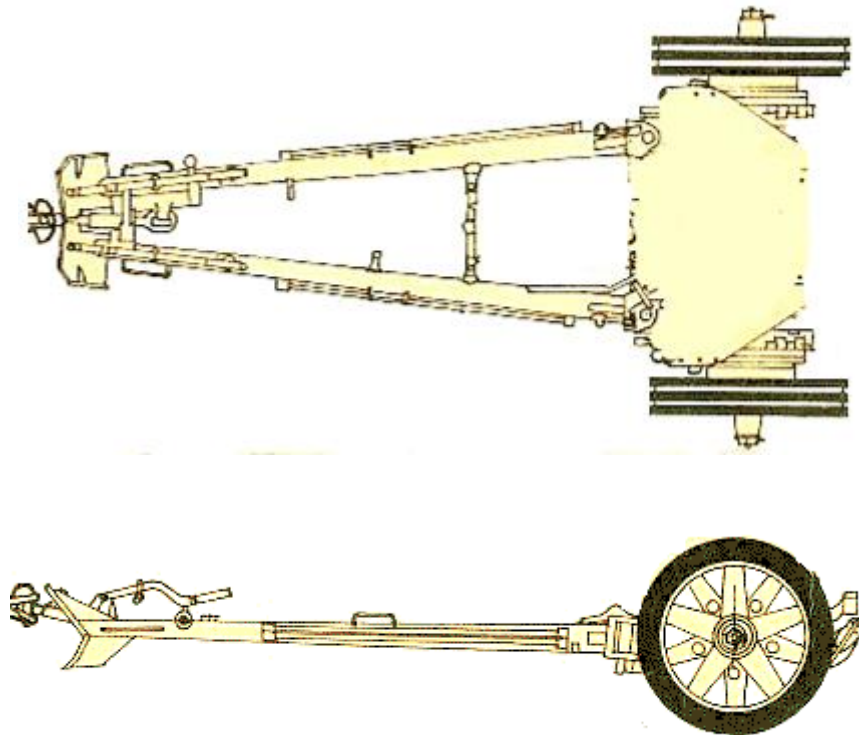


Figura J.2 - Barres de remolc amb contrapès (blue-prints.com)

Els pesos afegits a les puntes de les barres s'instal·larien un cop aquestes estiguessin recolzades al sòl. És a dir, els pesos no serien part de la barra, s'afegirien a posteriori al desmuntar el conjunt i preparar-lo per al servei.

Aquesta solució permetrà alleugerar el pes de la base en proporció a la longitud de les barres.

Però el càlcul del diàmetre i longitud de les barres queda fora dels objectius del projecte. S'anima a qui estigui interessat en realitzar l'estudi per a dimensionar les barres del remolc i trobar una suspensió apte per al transport, juntament amb les rodes, eixos i tot el que comporta.

ANNEX K: MOBILITAT DEL CONJUNT

Quan parlem de mobilitat ens referim a la facilitat que tenim per a desplaçar la rampa d'un punt A a un punt B. Inicialment, havíem establert que aquest punt era un dels destacats. Per a nosaltres és important que sigui fàcil de desplaçar. Com més mòbil sigui, més ús en podrem extreure.

Per a atorgar mobilitat, hem optat per una opció senzilla. La nostra passarel·la, és una estructura lleugera i poc voluminosa. De fet, en termes de pes i volum no dista gaire d'una caravana convencional. Aquesta similitud, ens possibilita que la nostra passarel·la pugui ser remolcada en condicions similars. Aquesta opció dóna al conjunt una gran flexibilitat, ja que no requerim d'un vehicle especial per a desplaçar-la. En tindrem suficient amb un vehicle civil per a remolcar-la.

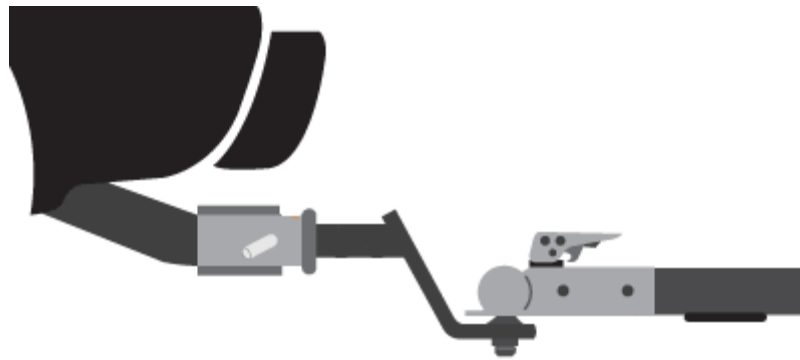


Figura K.1 - Remolc civil comú (autozone.com)

Per tal de realitzar-ho instal·laríem una suspensió amb dues rodes a la base (o més) per a poder ser remolcada. Per tal de realitzar-ho, instal·larem unes barres a la base del xassís per que s'acoblin al transport. Aquestes dues barres girarien en l'eix paral·lel al terra. Estarien connectades a la base als laterals de la base. A l'annex A podem veure amb més detall a que ens referim. Quan la estructura estigues desplegada, farien de suport al terra equilibrant-la. Quan s'hagués de transportar el conjunt, les barres s'acoblaríen entre elles i es suportarien sobre la barra de remolc.

En aquest avant-projecte no profunditzarem més en l'estudi d'aquesta solució, ja que es centra en el disseny estructural de la passarel·la.

ANNEX L: MÈTODE DE FABRICACIÓ

Hem utilitzat un cert nombre de tubs rectangulars i circulars en la nostra estructura. En l'etapa de fabricació podem treure partit a aquesta decisió. Segons el nus de soldadura que formi la resistència del mateix es veu forçament modificada. Ens aporten molta flexibilitat a l'hora de triar com els volem muntar.

La prioritat serà trobar les unions més senzilles i econòmiques possibles. El procés de soldadura requereix d'operaris qualificats pel treball, ja que és un treball tediós i complicat i més si els perfils de les barres estan buits per dins.

Les etapes que completarem per a la peça seran:

Tall → Soldat → Acabat i comprovació → Pintat

L.1 Tall

El tall és el procés de donar a les barres la forma per a assegurar que encaixin per a facilitar la soldadura. Aquest pas proporciona un acabat més net, una major resistència de la unió i la utilització de menys material de soldar entre d'altres.

Realitzarem unions de perfils tubulars amb rectangulars i viceversa. Hem volgut evitar la unió de perfils tubulars circulars amb d'altres del mateix estil per la dificultat que presenta. Per això hem prioritzat que en totes les unions el cordó sigui quadrat. Gràcies a això podem prendre la decisió de fer els talls rectes.

Els talls rectes donen a la barra un únic pla a l'extrem. Aquests talls es poden realitzar amb un simple serrat.

El tall per serrat inclou un gran nombre d'eines de tall. Les més obvies i bàsiques que disposen de serres o eines de control numèric que poden imitar la acció de serrar com una fresadora o una mola de desbast.

L.2 Soldatge

El soldatge és possible ja que l'acer estructural S355J2+N que hem utilitzat en les barres és soldable i totes les barres tenen una espessor mínima de 4 mm.

No ens interessa solapar les barres si no és necessari. Un nus solapat és més resistent, però requereix d'un tall i una tècnica de soldatge més complexos.

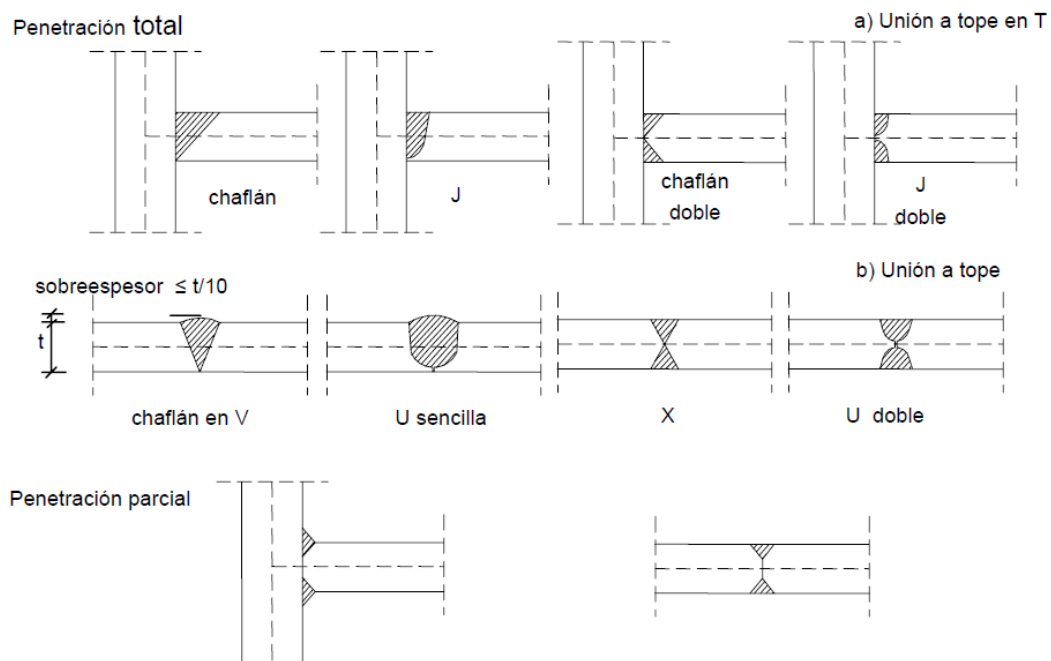


Figura L.1 - Tipus de soldadures a topar (CTE-DB-SE-A)

El procés de soldatge que utilitzarem serà el GMAW o MIG welding. Són les sigles de Gas metal arc welding i Metal inert gas welding respectivament. És el mètode de soldatge més comú per a peces d'estructures. Alguns dels seus avantatges inclouen:

- Rapidesa en el procés de soldatge.
- Protecció contra la oxidació i porositat en la soldadura gràcies al gas inert (diòxid de carboni).

- La tècnica de soldatge és senzilla, rebaixant el cost respecte altres tipus de soldatges com el TIG.

No està exempt de riscos. El principal inconvenient és la qualitat del producte. Si no es prenen les precaucions adequades en el manteniment del material i durant el procediment de soldatge, la soldadura pot presentar porus, òxid i imperfeccions.

L.3 Pintat/Acabat superficial

L'acer que tenim com a material estructural no està protegit contra agents externs o corrosius. Hem d'aplicar-li una capa superficial d'algun tipus de pintura per a aïllar-lo. Aquest tipus de tractament és el més econòmic i també un dels més efectius. La millor opció que tenim per a protegir-lo és realitzar una d'aquestes tres opcions:

L.3.1 Esmaltat

Consisteix en aplicar un esmalt al metall. Per a poder aplicar-lo s'ha de polir la superfície per a una bona adherència.

L'esmaltat té és un acabat vistós i brillant. Té el desavantatge que és força senzill que es malbarati la superfície amb el contacte. Però hi ha millors opcions.

L.3.2 Vernissatge

El vernissatge consisteix en com anuncia el nom, aplicar una capa de vernís. Ens permet mantenir un acabat natural i és molt fàcil d'aplicar, però no ens interessa l'estètica que té.

L.3.3 Pintat amb pistola de spray

D'aquestes tres opcions, la que ens atorga un millor acabat superficial homogeni i acabat estètic és el pintat amb pistola de spray. Requereix de l'ús de "maquinària especial", però és el mètode més ràpid dels tres.

És el mètode que utilitzarem. La pintura de plàstic disparada per la pistola està a força temperatura, permetent que aquesta penetri en les irregularitats de les barres i fent que sigui difícil que aquesta caigui amb el contacte.



Figura L.2 - Pintat amb pistola de spray (youthconnect.com.au)

L.4 Toleràncies

Les barres d'acer és comercialitzen amb diferents convenis segons el lloc de procedència. Aquest fet pot ocasionar que la normativa amb que es regula difereixi amb la que volem utilitzar.

A data d'avui a Europa les que s'utilitzen amb més freqüència són la EN-10297-1, la EN-10294-1 i la EN-10210-1.

Nosaltres utilitzarem la més comuna, la EN-10297-1.

Diàmetre exterior $\pm 1\%$ o $\pm 0,5$ mm si $D \leq 219,1$ mm

Espesor $\pm 12\%$ o $\pm 0,4$ mm si $D \leq 219,1$ mm